

# Développement du BIM et étude sur PLM dans une grande entreprise française

**CARLOS MANUEL ARAÚJO GONÇALVES**

Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de  
**MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL — ESPECIALIZAÇÃO EM CONSTRUÇÕES**

---

Orientador: Professor José Manuel Marques Amorim de Araújo Faria

---

Coorientador: Engenheiro Carlos da Silva Meira

JUNHO DE 2015

## **MESTRADO INTEGRADO EM ENGENHARIA CIVIL 2012/2013**

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

Tel. +351-22-508 1901

Fax +351-22-508 1446

✉ [miiec@fe.up.pt](mailto:miiec@fe.up.pt)

*Editado por*

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO

Rua Dr. Roberto Frias

4200-465 PORTO

Portugal

Tel. +351-22-508 1400

Fax +351-22-508 1440

✉ [feup@fe.up.pt](mailto:feup@fe.up.pt)

🌐 <http://www.fe.up.pt>

Reproduções parciais deste documento serão autorizadas na condição que seja mencionado o Autor e feita referência a *Mestrado Integrado em Engenharia Civil - 2014/2015 - Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2015.*

As opiniões e informações incluídas neste documento representam unicamente o ponto de vista do respetivo Autor, não podendo o Editor aceitar qualquer responsabilidade legal ou outra em relação a erros ou omissões que possam existir.

Este documento foi produzido a partir de versão eletrónica fornecida pelo respetivo Autor.

À mes parents

*“Si tu trouves un chemin sans obstacles, probablement il ne te conduit nulle part.”*

*Frank Clark*



## **REMERCIEMENTS**

Je tiens en premier lieu à remercier mes parents et mon frère pour leur amour confiance et encouragement qu'ils m'ont transmis. Les remercier aussi pour tous leurs sacrifices tout au long de ces dernières années.

A mes grands-parents qui m'ont toujours aussi toujours soutenus et aidé pendant l'absence de mes parents.

A Rute pour tout le soutien qu'elle m'a donné tout au long de ces dernières années. Son aide a été essentielle pour arriver jusqu'ici.

A mon tuteur Professeur José Manuel Marques Amorim de Araújo Faria pour avoir accepté de me diriger, pour sa disponibilité, son soutien et ses conseils. Sans ses conseils et son vote de confiance j'aurais eu énormément de mal à réaliser ce travail.

A tous les collaborateurs de la DIP avec qui j'ai eu le plaisir de travailler pendant mes 4 mois de stage. Un remerciement spécial à l'Ingénieur Carlos DA SILVA MEIRA pour m'avoir donné cette opportunité unique de connaître le monde Bouygues et le monde du travail, pour ses conseils et orientations essentielles pour la réalisation de ce travail.

A Chantal MATIS et Christophe GILLES pour leur patience et aide pour la relecture et correction de ce travail.

A tous mes amis de l'université qui m'ont toujours aidé et montré l'importance du travail en équipe basé sur la confiance et tous ceux qui m'ont accompagné tout au long de ces dernières années.



## RESUME

L'industrie de la construction des principaux pays développés est en crise. Son indice de productivité ne progresse pas au même rythme que les industries manufacturières. Elle est donc à la recherche de solutions qui permettent d'améliorer fortement son indice de productivité. L'industrie automobile a généré la philosophie *Lean* qui est maintenant utilisée par des entreprises de pratiquement tous les secteurs. Celles-ci cherchent à exploiter les principaux concepts du *Lean* comme la standardisation, l'automatisation, la collaboration, l'informatisation et la réduction des gaspillages.

Les entreprises du secteur de la construction, plus particulièrement de l'ingénierie, ont commencé à adopter la philosophie *Lean* en misant de plus en plus sur la standardisation, l'informatisation et l'automatisation pour le développement de leurs activités. Ces trois phases sont fondamentales non seulement pour augmenter la productivité des entreprises mais aussi pour augmenter la qualité des projets. Elles luttent contre les principales causes de la productivité basse du secteur que sont l'incompatibilité entre les projets, la mauvaise interopérabilité entre les logiciels, la dispersion de l'information au cours du projet et la mauvaise communication entre les intervenants. Le *Building Information Modeling* est actuellement considéré par les principales entreprises du secteur comme une réponse à la majorité de ces problèmes. Le BIM à l'identique des philosophies *Lean*, provient de l'industrie automobile, où la modélisation en 3D associée à l'information est déjà une réalité.

Les entreprises leaders du secteur se penchent actuellement sur l'étude de la viabilité de l'implantation de la technologie PLM (*Product Lifecycle Management*) dans le secteur de la construction. Cette démarche vise aussi à augmenter la productivité des entreprises en améliorant la gestion de l'information au long du cycle de vie complet du projet.

Cette étude, réalisée sous la forme de stage formel dans l'entreprise Bouygues Bâtiments Île-de-France Habitat Social, contient une brève description de la région, de son marché et de l'impact de l'entreprise sur son marché. La production de documents et les échanges d'information entre les différentes cellules de la direction d'ingénierie de projet ont été étudiés. La filiale spécialisée dans l'habitat social ayant déjà commencé à travailler sur le BIM, le principal objectif de cette étude est de développer et de promouvoir l'application du BIM au sein de l'entreprise. Le marché du BIM a été étudié et les différentes phases du BIM analysées.

L'étude se conclut sur le *Product Lifecycle Management* en analysant le marché de ces nouveaux processus de travail et proposant ainsi une possible stratégie pour les implémenter dans l'entreprise.

Mots-Clés : *Lean*, standardisation, collaboration, automatisation, *Building Information Modeling*, *Product Lifecycle Management*, Bouygues Bâtiments Île-de-France Habitat Social





## ABSTRACT

The construction industry in the most developed countries is in crisis. This industry has reached indexes of productivity increasingly lower as compared with the main manufacturing industries. Therefore it is necessary that enterprises find solutions that will permit reaching high indexes of productivity, even if the genesis of “Lean” philosophies are from the automotive industry. These are increasingly used in sectors of industry, including the building industry. These enterprises have been trying to explore the main ideologies of Lean, such as standardisation, automation, collaboration, computer science and reduction of waste.

Enterprises of the building sector, more specifically engineering, bet increasingly on standardisation, computer science and automation towards the development of their activities. These three terms are seen as fundamental to increase the productivity of companies and to increase the quality of projects. These aspects are essential, because the main causes for the low productivity in the sector are the incompatibilities between projects, interoperability between programs, dispersion of the information all throughout the project and the lack of collaboration (communication) between parties. Nowadays The Building Information Modeling is seen by the main enterprises as the answer to the majority of these problems. BIM, just like the Lean philosophies comes from the automobile industry, where the modulation 3D is associated to the information already is a reality.

The leader enterprises have been studying the viability of implementation of the technology PLM (Product Lifecycle Management) in the building sector. This acronym just like the previous ones is already in use in the automotive industry. This initiative comes mainly from the need to increase the enterprises productivity, by improving the management of information and managing all the information throughout the life cycle of the project.

The current dissertation was developed in the Bouygues Bâtiments Île-de-France Habitat Social Company, in which a brief study was worked out about the region, the market and the impact of this in the market. In this dissertation it was carried out a study about the production of documents and the information exchange on several sectors of the direction, to explore in detail their current needs. The specialized subsidiary in social habitation has already started its work on the scope of the BIM, however the need to develop and enhance the BIM application within the company has become the central goal of this dissertation. Therefore, a study has been made on the market of BIM and it examined the several phases of this methodology.

Finally, a study about the Product Lifecycle Management has been made, analysing the market of this new acronym present in the sector and suggested a possible strategy of its implementation in the enterprise.

**KEYWORDS:** *Lean*, Standardisation, Collaboration, Automation, *Building Information Modeling*, *Product Lifecycle Management*



## RESUMO

A indústria da construção dos principais países desenvolvidos está em crise. Esta indústria tem atingindo índices de produtividade cada vez mais baixos, em comparação com as principais indústrias transformadoras. Neste âmbito é necessário que as empresas encontrem soluções que permitam atingir elevados índices de produtividade, mesmo que a génese das filosofias *Lean* sejam da indústria automóvel. Estas são cada vez mais utilizadas nos diversos setores da indústria, incluindo o da construção. As empresas têm procurado explorar as principais ideologias do *Lean*, tais como a estandardização, automatização, a colaboração, a informática e a redução de desperdícios.

Relativamente às empresas do sector da construção, mais concretamente da engenharia, estas apostam cada vez mais na estandardização, na informatização e na automatização para o desenvolvimento das suas atividades. Estes três termos são vistos como fundamentais tanto para aumentar a produtividade das empresas como para aumentar a qualidade dos projetos. Estes aspetos são essenciais, visto que as principais causas para a baixa produtividade no sector são as incompatibilidades entre projetos, a interoperabilidade entre os programas, a dispersão da informação ao longo do projeto e a falta de colaboração (comunicação) entre os intervenientes. O *Building Information Modeling* é atualmente visto pelas principais empresas como a resposta à maioria destes problemas. O BIM, à semelhança das filosofias *Lean* provém da indústria automóvel, onde a modelação 3D associada à informação já é uma realidade.

As empresas líderes do sector têm estado atualmente, a estudar a viabilidade da implementação da tecnologia PLM (*Product Lifecycle Management*) no sector da construção. Este acrónimo à semelhança dos anteriores, também é já utilizado na indústria automóvel. Esta iniciativa parte principalmente da necessidade de aumentar a produtividade das empresas, melhorando a gestão da informação e gerindo toda a informação ao longo do ciclo de vida do projeto.

A presente dissertação foi desenvolvida na empresa *Bouygues Bâtiments Île-de-France Habitat Social*, na qual foi elaborada um breve estudo sobre a região, o mercado e o impacto desta no mercado. Nesta dissertação realizou-se um estudo sobre a produção de documentos e a troca de informação dos vários sectores da direção de engenharia de projetos da empresa, para analisar detalhadamente as suas necessidades atuais. A filial especializada na habitação social já iniciou o seu trabalho no âmbito do BIM, contudo a necessidade desenvolver e potencializar a aplicação do BIM no seio da empresa, tornou-se o objetivo fulcral desta dissertação. Para tal, realizou-se estudos no mercado do BIM e analisou-se as várias fases desta metodologia.

Por fim, foi efetuado um estudo sobre o PLM, analisando o mercado deste novo acrónimo presente no setor e propondo uma possível estratégia de implementação deste na empresa.

**PALAVRAS-CHAVE:** *Lean*, Estandarização, Colaboração, Automatização, *Building Information Modeling*, *Product Lifecycle Management*



## TABLE DES MATIERES

REMERCIEMENTS.....	i
RESUME .....	iii
ABSTRACT .....	v
RESUMO .....	vii
<b>1. INTRODUCTION .....</b>	<b>1</b>
1.1. CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES .....	1
1.2. OBJECTIFS.....	2
1.3. MÉTHODOLOGIE .....	3
1.4. ORGANISATION DE LA DISSERTATION .....	3
<b>2. ETAT DE L'ART .....</b>	<b>5</b>
2.1. LEAN CONSTRUCTION.....	5
2.1.1. Lean .....	5
2.1.2. Particularités du secteur du BTP [4].....	8
2.1.3. Lean Construction .....	9
2.2. BIM- BUILDING INFORMATION MODELING .....	12
2.2.1. Encadrement du concept BIM .....	12
2.2.2. Interopérabilité.....	14
2.2.3. Formats Standard.....	16
2.2.4. Réinvention du Métier .....	22
2.2.5. Différence entre le 2D et le 3D .....	24
2.2.6. Niveau de Développement de la maquette numérique [31] .....	25
2.2.7. Fonctionnalité et bénéfices du BIM [32] .....	26
2.2.8. Inconvénients du BIM .....	27
2.3. PRODUCT LIFECYCLE MANAGEMENT .....	29
2.3.1. Encadrement du PLM [36].....	29
2.3.2. Le PLM dans l'industrie automobile .....	30
2.3.3. Le PLM dans l'industrie de la construction.....	33
<b>3. DESCRIPTION DE L'ENTREPRISE.....</b>	<b>39</b>
3.1 HABITAT SOCIAL .....	39

3.1.1 Histoire du logement social [43] .....	39
3.1.2. Marché du logement social en France et en Île-de-France.....	41
<b>3.2 PRESENTATION DE L'ENTREPRISE .....</b>	<b>42</b>
3.2.1 Groupe Bouygues.....	42
3.2.2. Bouygues Construction .....	43
3.2.3. Bouygues Bâtiment Île de France Habitat Social .....	45
<b>3.3. DIRECTION D'INGÉNIERIE DE PROJET .....</b>	<b>47</b>
3.3.1. Projet en phase commerciale et d'étude .....	47
3.3.1.1. Commercial.....	47
3.3.1.2 Étude de Prix .....	49
3.3.1.3. Bureau d'études.....	51
3.3.2. Direction technique en phase exécution .....	54
3.3.2.1. Bureaux d'études exécution .....	54
3.3.2.2. Méthodes .....	55
 <b>4. DÉVELOPPEMENT DU BIM .....</b>	 <b>59</b>
<b>4.1. MOTIVATIONS DE L'ENTREPRISE .....</b>	<b>59</b>
<b>4.2. LA STRATÉGIE POUR IMPLÉMENTER LE BIM DANS L'ENTREPRISE.....</b>	<b>60</b>
<b>4.3 LE DÉBUT DE L'UTILISATION DU BIM DANS L'ENTREPRISE .....</b>	<b>62</b>
4.3.1 Revit.....	62
4.3.2 Développement de la maquette numérique .....	62
4.3.2.1. Paramètres .....	63
4.3.2.2. Gabarits de vue .....	64
4.3.2.3. Familles .....	64
4.3.2.4. Arborescence et nomenclatures.....	65
<b>4.4. LES DOCUMENTS PRODUITS AVEC LA MAQUETTE NUMÉRIQUE .....</b>	<b>67</b>
4.4.1. Etudes de Prix et Bureau d'Etudes avant-projet .....	67
4.4.2. Acoustique et Thermique.....	68
4.4.3. Méthodes .....	68
4.4.4. Bureau d'Etude en phase d'exécution.....	71
4.4.5. Conforme et CES.....	72
<b>4.5. BIM COLLABORATIF DANS L'ENTREPRISE .....</b>	<b>74</b>
4.5.1. Introduction au BIM collaboratif .....	74
4.5.2 Application du travail collaboratif dans l'entreprise .....	75
<b>4.6. MAQUETTES CRÉÉES PAR L'ENTREPRISE .....</b>	<b>79</b>
4.6.1. Maquette Intégrée Logement .....	79

4.6.2. Maquette Intégrée Logement-Architecte (et mètreur) .....	83
<b>4.7. COLLABORATION ÉTENDUE</b> .....	84
4.7.1. Collaboration avec les fournisseurs (passant par les achats) et clients .....	84
4.7.1. Collaboration avec les travaux .....	87
<b>4.8. BIM INTÉGRÉ</b> .....	89
4.8.1. Travail collaboratif basée sur <i>Cloud</i> .....	89
<b>4.9. PRODUCT LIFECYCLE MANAGEMENT</b> .....	92
4.9.1. PLM CHEZ HAS .....	92

## **5. DÉVELOPPEMENT DES TÂCHES** .....

<b>5.1. MAQUETTE MULTI-MÉTIER ET MULTI-PHASE</b> .....	97
5.1.1. Activités réalisées pour la MIL .....	97
5.1.1.1. Filtres .....	97
5.1.1.2. Annotations .....	98
5.1.1.3. Cartouches .....	99
5.1.2. Activités réalisées pour la MIL_Archi .....	101
5.1.2.1. Les voiles et planchers .....	101
5.1.2.2. Familles de fenêtres et de fondation .....	103
5.1.2.3. Nomenclatures .....	105
<b>5.2. APPLICATIONS DE LA MAQUETTE INTÉGRÉE LOGEMENT</b> .....	105
5.2.1. Description du projet .....	105
5.2.2. Modélisation .....	106
5.2.3 Comparaison MIL et MIL Architecte .....	110
<b>5.3. SIMULATION DU TRAVAIL COLLABORATIF</b> .....	113
<b>5.4. TEST DE LOGICIEL PLM</b> .....	116

## **6. CONCLUSION** .....

<b>6.1. CONCLUSION SUR LES THÈMES ABORDÉS</b> .....	121
<b>6.2. CONCLUSION SUR LES TÂCHES RÉALISÉES</b> .....	123

<b>REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES</b> .....	123
--	-----





## LISTE DES FIGURES

Figure 2.1- – Ligne d'assemblage inspiré sur le Fordisme [2] .....	6
Figure 2.2– Représentation schématique du Système de Production Toyota (TPS) [3] .....	7
Figure 2.3 – Aéroport Roundabout Pont BR001 [5] .....	9
Figure 2.4 – Valeur ajoutée de l'industrie de la construction et manufacturière [4] .....	10
Figure 2.5 – Structure du Lean Project Delivery System [4] .....	12
Figure 2.6 – La maquette numérique dans la construction [11] .....	13
Figure 2.7– Pourcentage du temps d'adoption du BIM [12] .....	14
Figure 2.8 – Échanges de données au long d'un projet [adaptée de 14] .....	15
Figure 2.9 – Les échanges de données via les IFC [21] .....	17
Figure 2.10 – Paramètres pour définir les caractéristiques des portes [23] .....	20
Figure 2.11 – Courbe de MacLeamy [27] .....	23
Figure 2.12 – Différence entre le processus traditionnel et collaboratif .....	23
Figure 2.13 – Niveaux de détail [28] .....	26
Figure 2.14 – Courbe adapté du Hype Cycle [34] .....	28
Figure 2.15 – Principales phases d'un projet insérant les méthodologies PLM [37] .....	30
Figure 2.16 – Standardisation des échanges d'informations [39] .....	31
Figure 2.17 – Les bénéfices du PLM au long du cycle de vie d'un produit [37] .....	32
Figure 2.18 – Gestion du cycle de vie sur un référentiel unique [28] .....	34
Figure 2.19 – Arborescences de la GBS [41] .....	35
Figure 2.20 – Projet WBS [41] .....	36
Figure 2.21 – Cycle en V [42] .....	37
Figure 3.1 – Cité ouvrière à Mulhouse [44] .....	39
Figure 3.2 – Quartier Masséna .....	40
Figure 3.3 – Nombre de logement par région [46] .....	41
Figure 3.4 – Croissance du marché immobilier dans l'Île-de-France [47] .....	42
Figure 3.5 – Organigramme du Groupe Bouygues (31/12/2014) [49] .....	43
Figure 3.6 – Organigramme de l'entreprise Bouygues Construction [50] .....	43

Figure 3.7 – Chiffre de Bouygues Construction en 2013 [50] .....	44
Figure 3.8 – BIM dans le monde [51] .....	45
Figure 3.9 – Organigramme de Bouygues Bâtiment Île-de-France [28] .....	46
Figure 3.10 – Flux d'activité pendant la phase commercial [28] .....	48
Figure 3.11 – Flux d'activité en phase d'exécution.....	54
Figure 4.1 – Niveau de maturité du BIM [53].....	59
Figure 4.2 – Avancement du BIM dans l'entreprise [28] .....	61
Figure 4.3 – L'interface pour créer ou ajouter des paramètres .....	63
Figure 4.4 – Échanges d'informations au long d'un projet [28] .....	66
Figure 4.5 – Maquette pour les deux cellules (EDP et BE) [28].....	67
Figure 4.6 – La maquette pour la cellule Acoustique et Thermique [28].....	68
Figure 4.7 – Exemple de PIC 3D [28].....	69
Figure 4.8 – Famille Revit en 3D [28] .....	70
Figure 4.9 – Exemple de famille d'échafaudage en 3D [28].....	70
Figure 4.10 – Exemple de filtre pour réaliser le plan de cycle.....	71
Figure 4.11 – Plan de coffrage .....	72
Figure 4.12 – Plan conforme [28] .....	73
Figure 4.13 – Nombre de ressaisies au long d'un projet [54].....	74
Figure 4.14 – Courbe MacLeamy avec le BIM – version Bouygues HAS.....	75
Figure 4.15 – Exemplification du fichier central et des fichiers locaux [55].....	76
Figure 4.16 – Exemplification des deux processus de travail .....	77
Figure 4.17 – Projet fait entièrement en utilisant la maquette numérique [28].....	78
Figure 4.18 – Organisation de la MIL [28] .....	80
Figure 4.19 – Vue de chaque métier [28] .....	81
Figure 4.20 – Organisation de l'arborescence.....	81
Figure 4.21 – Filtrer l'arborescence .....	82
Figure 4.22 – Projet en volume .....	84
Figure 4.23 – Famille avec vue du service achat .....	85
Figure 4.24 – Exemple de paramètre COBie [28] .....	86

Figure 4.25 – Technologie de réalité augmenté « Ramby » [28] .....	87
Figure 4.26 – La maquette dans des outils portables .....	88
Figure 4.27 – Réunion en collaboration .....	88
Figure 4.28 – Les types de services Cloud [57] .....	90
Figure 4.29 – Exemplification du mode de travail sur fichier central et référentiel unique.....	91
Figure 4.30 – Le PLM comme stratégie d'entreprise [58] .....	92
Figure 4.31 – Planning Commerciale [28] .....	93
Figure 4.32 – Insertion des intervenants sur Chorus [28] .....	94
Figure 4.33 – Feuille de lancement [28] .....	95
Figure 4.34 – Analyse de risque [28] .....	95
Figure 5.1 – Feuille avec l'ensemble des côtes et textes.....	98
Figure 5.2 – Centralisation des légendes.....	99
Figure 5.3 – Cartouche conforme avec ses paramètres de visibilités .....	100
Figure 5.4 – Cartouche adaptable.....	100
Figure 5.5 – Exemple: murs multicouches créer avec une couche en voile de béton, une couche d'isolation thermique intérieure et une couche finition extérieur en enduit .....	102
Figure 5.6 – Caractérisation du béton C25/30 .....	103
Figure 5.7 – Famille de fenêtre MIL_Archi .....	104
Figure 5.8 – Famille de fondation.....	104
Figure 5.9 – Nomenclatures du MIL_Archi.....	105
Figure 5.10 – Vue 3D Harmonia.....	106
Figure 5.11 – Import du fichier CAD.....	107
Figure 5.12 – Représentation graphique de la charte de modélisation .....	107
Figure 5.13 – Représentation graphique de la charte de modélisation .....	108
Figure 5.14 – Ajustement de la ligne de justification.....	108
Figure 5.15 – Famille étiquette pour logements.....	109
Figure 5.16 – Version MIL Architecte et version MIL respectivement.....	113
Figure 5.17 – Création de sous-projets.....	113
Figure 5.18 – Onglet collaboration de Revit.....	114

Figure 5.19 – Droit de modification.....	114
Figure 5.20 – Projet sous format IFC .....	115
Figure 5.21 – Visualisation des quantités à partir des visionneuses BIM .....	115
Figure 5.22 – Visualisation graphique du paramètre [28].....	116
Figure 5.23 – Vue multi-métiers [28] .....	117
Figure 5.24 – Quelques fonctionnalités de l'outil PLM [28] .....	117
Figure 5.25 – Paramètres des murs [28] .....	118
Figure 5.26 – Arborescence du projet Harmonia [28] .....	118
Figure 5.27 – Planning sous diagramme de Gantt [28].....	119

## **LISTE DES TABLEAUX**

Tableau 2.1 – Listes des logiciels en cours de certification et certifiés [22] .....	19
Tableau 2.2 – Classification UNIFORMAT II.....	21
Tableau 2.3 – Une partie du format COBie.....	22
Tableau 3.1 – Différents type de contrats [adaptée de 52] .....	47
Tableau 4.1 – Comparaisons Métreur/Maquette [28].....	66
Tableau 4.2 – Résultats de la pratique du travail collaboratif .....	78
Tableau 5.1 – Partie du fichier des filtres.....	97
Tableau 5.2 – Tableau avec les surfaces par logement .....	109
Tableau 5.3 – Les tests réalisés.....	110
Tableau 5.4 – Analyse de la MIL et de la MIL_Archi.....	112



## SYMBOLES, ACRONYMES ET ABREVIATIONS

2D – Deux Dimensions

3D – Trois Dimensions

4D – Quatre Dimensions

5D – Cinq Dimensions

6D – Six Dimensions

7D – Sept Dimensions

ABS – *Activity Breakdown Structure*

AEC – *Architecture, Engineering Construction*

AIA – *American Institute of Architects*

AIC – Architecture, Ingénierie et Construction

Bbio – Besoin bioclimatique

B.E – Bureau d'Etudes

B.E ap – Bureau d'Etudes avant-projet

BIM – *Building Information Modeling/Model/Management*

BTP – Bâtiment et Travaux Publics

CAD – *Computer Aided Design*

CAO – Conception Assistée par Ordinateur

CCTP – Cahier des Clauses Techniques Particulières

Cep – Consommation d'énergie primaire

CES – Corps d'Etat Secondaire

COBIE – *Construction Operation Building Information Exchange*

CRM – *Customer Relationships Management*

CSTB – Centre scientifique et technique du bâtiment

DAI – Direction Achat Intégrée

DIP – Direction Ingénierie de Projet

EDP – Etudes de Prix

EDP GO – Etudes de Prix Gros Œuvre

EPIC – *Electronic Product Information Cooperation*

ERP – *Enterprise Resource Planning*

EVR – *Earned Value Running*

GBS – *Geographical Breakdown Structure*

GCL – Gestion de la Chaîne Logistique  
HAS – Habitat Social  
HLM – Habitation à Loyer Modéré  
IAI – *International Alliance for Interoperability*  
IdF – Île-de-France  
IDM – *Information Delivery Manual*  
IFC – *Industry Foundation Classes*  
IFD – *International Framework for Dictionaries*  
IPD – *Integrate Project Delivery*  
IPT – *Integrated Project Teams*  
ISO – *International Organization for Standardization*  
ITE – Isolant Thermique Extérieur  
ITI – Isolant Thermique Intérieur  
LOD – *Level of Detail*  
LPDS – *Lean Project Delivery System*  
LPS – *Last Planner System*  
MEP – *Mechanical, Electricity Plumbing*  
MIL – Maquette Intégrée Logement  
MNB – Maquette Numérique Bâtiment  
OBS – *Organizational Breakdown Structure*  
PBS – *Product Breakdown Structure*  
PDM – *Product Data Management*  
PIB – Produit Intérieur Brut  
PIC – Plan d'Installation de Chantier  
PLM – *Product/Project Lifecycle Management*  
PME – Petite et Moyenne Entreprise  
PPP- Partenariat Public Privée  
R&D – Recherche et Développement  
RSI – Retour Sur Investissement  
SBS – *System Breakdown Structure*  
SCM – *Supply Chain Management*  
SGDT – Système de Gestion de Données Techniques  
SHA – Surface Habitable  
SHO – Surface Hors Œuvre



SHON – Surface Hors Œuvre Nette

SMED – *Single Minute Exchange of Die*

STD – Simulation Thermique Dynamique

STEP – *Standard for Exchange Product*

SDRF – Schéma Directeur de la Région Île-de-France

TOC – *Theory of Constraints*

UE – Union Européenne

UO – Unité Opérationnel

VPI – Voile Périphérique d'Infrastructure

VRD – Voiries et Réseaux Divers

WBS – *Work Breakdown Structure*

WEB – *World Wide Web*



# 1

## INTRODUCTION

### 1.1. CONSIDERATIONS GENERALES

Dans l'actuel scénario de l'économie mondiale, tous les procès d'industrialisation sont insérés dans le contexte de la globalisation, et en constante actualisation. La recherche de nouvelles technologies est constante. Actuellement les industries essaient d'implanter des processus d'informatisation et d'automatisation innovants qui puissent augmenter la productivité des entreprises et répondre aux demandes qui sont de plus en plus exigeantes.

L'industrie de la construction est connue comme le moteur des principales économies mondiales, elle représente un grand pourcentage du PIB mondial et les prévisions tablent sur une croissance qui devrait atteindre près de 13% du PIB mondial. L'industrie de la construction joue un rôle central dans la société puisque la vie quotidienne et les activités sociales sont souvent liées aux bâtiments et aux infrastructures publiques et elle emploie énormément de personnes. Il est estimé que chaque emploi du secteur de la construction crée trois autres emplois indirectement associés à la construction.

Cependant au fil de ces dernières années le secteur du Bâtiment et des Travaux Public perd de son poids dans la croissance des économies de nombreux pays. Beaucoup d'hypothèses sont faites sur l'origine de cette crise, les principales sont fondées sur le développement durable du secteur. La construction a longtemps été une industrie de référence mais elle n'a pas su accompagner l'évolution du monde vers l'informatisation et l'automatisation, au contraire de l'industrie automobile et de l'informatique qui ne cessent d'évoluer avec de nouvelles technologies. L'industrie de la construction doit accroître son niveau d'industrialisation et de standardisation comme l'a fait l'industrie manufacturière. Pour cela il est essentiel de s'appuyer sur les nouvelles technologies informatiques, les méthodes de travail collaboratif et l'augmentation de la préfabrication et de la modularisation.

Le secteur de la construction est un secteur particulier. Il existe un grand nombre d'intervenants au cours d'un projet et cela nécessite d'avoir une bonne communication et collaboration entre les différentes équipes. De plus tout au long d'un projet il est produit une grande quantité de documents qui augmente au fur et à mesure que le projet avance. Dans ce cadre il est possible d'observer l'importance de la gestion de l'information et de la collaboration pour rendre à l'industrie de l'architecture, ingénierie et construction (AIC) des indices de productivité élevés.

Actuellement il est essentiel que les entreprises qui souhaitent augmenter leur productivité et s'affirmer dans le marché du travail grandissent et se consolident autour des nouvelles technologies comme par exemple le BIM. Le BIM est aujourd'hui l'acronyme le plus utilisé dans le secteur et cela est dû aux bénéfices que cette méthode peut apporter aux entreprises. La modélisation du projet n'est plus uniquement un simple dessin sur un plan mais l'avatar du projet avec toute l'information associée aux éléments. Cela permet aux entreprises d'augmenter la qualité des projets tout en augmentant leur

productivité. Avec l'arrivée du BIM la fluidification des échanges d'informations entre les différentes équipes de l'entreprise est optimisée.

L'avènement du BIM vient réinventer le métier en remplaçant les processus de travail séquentiels en simultané, favorisant ainsi le travail collaboratif à la place du travail isolé. Ainsi le BIM n'est pas uniquement un changement de type de logiciel (3D au lieu de 2D). L'évolution du BIM se fait à l'échelle mondiale et de nombreuses normes et réglementations sont créées chaque année pour favoriser l'utilisation du BIM dans les marchés publics qui sont très importants pour la majorité des entreprises.

Face à la situation du secteur où la globalisation a augmenté considérablement la concurrence, les clients sont de plus en plus exigeants, les délais plus serrés que jamais et avec l'augmentation des affaires de conception-construction et conception-construction-exploitation (PPP), les entreprises cherchent des solutions qui puissent répondre à ces besoins. L'informatisation et l'automatisation sont considérées comme les principaux leviers pour répondre à ces besoins. Ainsi il a surgi la possibilité d'implémenter les solutions PLM (*Product/Project Lifecycle Management*) dans le secteur de l'AIC, permettant de gérer le cycle de vie du projet.

L'interaction entre les processus BIM et PLM dévoilent des synergies potentielles sur les deux principaux thèmes du développement de la construction qui permettent de concevoir, construire et exploiter les ouvrages d'une manière plus fiable, diminuant la durée des projets, et ainsi leurs coûts. Ce dernier s'appuie sur le concept du Lean Construction. Ce concept est né dans le cadre de la gestion de projet de construction, facilitant la gestion des flux physiques en éliminant les activités qui n'ajoutent pas de valeur aux produits finaux. Le BIM facilite la conception mais ne la formalise pas dans les phases en amont, et ainsi le BIM travaille sur le cycle de vie du bâtiment mais n'assure pas sa gestion.

Pour que ces technologies soient viables, il est primordial d'avoir un haut niveau d'interopérabilité entre les logiciels BIM et aussi le PLM. Il est aussi crucial que tous les acteurs du secteur AIC travaillent en collaboration et se tracent des lignes d'évolution qui satisfassent les différents métiers liés à la construction, de la conception à la démolition ou rénovation, évitant ainsi la fragmentation de toutes les étapes.

Au Portugal, la plus grande partie des entreprises sont de dimensions réduites ce qui fait que les entreprises ont du mal à s'imposer sur le marché international. Elles sont incapables de participer aux appels d'offre d'affaires importantes, empêchant ainsi ces entreprises d'évoluer et elles finissent par être absorbées par d'autres entreprises. Dans un premier temps, le BIM et ensuite le PLM seraient une des alternatives possibles pour que ces entreprises s'imposent sur le marché international.

Il est donc d'un grand intérêt d'étudier et de travailler ces nouveaux processus innovants et collaboratifs dans l'entreprise. Ces processus ont déjà été implantés dans diverses industries, comme l'industrie de l'automobile. Ces nouvelles technologies ont su s'affirmer dans ces industries qui ont une productivité élevée, plus haute que l'industrie de la construction. Il est aussi intéressant d'étudier comment ces nouvelles façons de travailler et ces nouveaux logiciels peuvent s'adapter aux méthodes traditionnelles de travail.

## 1.2. OBJECTIFS

Le premier objectif de cette étude est de comprendre comment Bouygues Bâtiment IdF HAS a mis en œuvre les outils BIM et principalement le logiciel *Revit* et comment les collaborateurs des différentes cellules utilisent la maquette dans la réalisation de leurs tâches, afin de pouvoir déterminer quel est le

niveau d'adoption du BIM dans l'entreprise. Un des objectifs de cette phase est aussi de recenser les besoins des acteurs au long des différentes phases d'un projet.

Suivant les constats effectués lors de la première phase, la poursuite de l'étude continue par l'amélioration de l'utilisation de la maquette numérique pour faire évoluer le niveau d'adoption du BIM, de passer du mode d'application de BIM isolé au BIM collaboratif. L'autre objectif de ce travail est de produire une maquette bénéfique à l'entreprise et aux métiers associés comme les architectes et métresseurs.

Ce travail a également l'objectif de garantir et respecter une bonne pratique des méthodologies BIM. La maquette créée a été réalisée pour répondre aux besoins de la phase où elle sera utilisée, tout en assurant sa compatibilité avec les phases suivantes. Pour cela il est décrit comment la maquette numérique peut accompagner et représenter un projet de la phase de conception à la phase d'exploitation, en passant par l'exécution -construction du projet.

Enfin, dans cette étude, les derniers objectifs sont de réaliser une étude sur le PLM, comprendre en quoi consiste ce concept et les avantages qu'il pourrait amener pour l'entreprise et comment l'entreprise pourrait passer du mode BIM collaboratif vers un BIM intégré.

### **1.3. METHODOLOGIE**

Dans une première partie, une recherche bibliographique a permis de faire le point sur les connaissances des concepts *Lean*, BIM et PLM et en quoi ces deux derniers processus sont actuellement liés afin d'acquérir les connaissances nécessaires pour cette étude. En parallèle, il est établi un état de l'art pour mieux cerner le sujet afin d'y apporter une contribution, source de progrès.

Ensuite, il a fallu connaître le fonctionnement de l'entreprise et s'y adapter. Plusieurs réunions avec les collaborateurs se sont tenues afin de prendre en compte les besoins actuels des différents métiers et ainsi pouvoir développer et encadrer une grande part du travail. L'observation de l'évolution d'un projet, de la communication et des échanges d'information entre les différentes cellules, complètent cette phase.

Dans la phase suivante l'apprentissage du logiciel Revit a été effectué pour exploiter ses possibilités et l'utiliser pour les tâches demandées par l'entreprise. Une étude sur le *Project Lifecycle Management* est ensuite menée pour analyser la viabilité de ce dernier dans le secteur.

La dernière phase consiste à tirer des conclusions sur les interventions réalisées au sein de l'entreprise et de les situer par rapport aux objectifs fixés initialement.

### **1.4. ORGANISATION DE LA DISSERTATION**

Afin de satisfaire les objectifs fixés et suivre la méthodologie proposée, ce mémoire se compose de 6 Chapitres :

Le Chapitre 1 « Introduction », aborde la problématique du secteur de la construction et du travail élaboré, l'évolution vécue par l'industrie de la construction et apporte une réflexion sur le futur du secteur avec l'arrivée de nouveaux processus innovants de travail, principalement l'informatisation et l'automatisation.

Le Chapitre 2 décrit les principaux concepts et philosophies essentiels pour le développement du travail, associés au Lean, au BIM et au PLM.

Le Chapitre 3 situe l'entreprise Bouygues Bâtiment Île-de-France Habitat Social. Il explique l'origine d'habitat social et le marché de la région, puis le Groupe Bouygues est décrit jusqu'à la filiale francilienne spécialisée dans la construction de logements sociaux. Il explique les principales missions de l'entreprise, ses façons de travailler et l'impact qu'a cette entreprise dans la région Île-de-France.

Le Chapitre 4 est consacré à l'explication de l'utilisation du Revit dans l'entreprise et comment le logiciel Revit a changé les méthodes de travail de l'entreprise. Il évoque aussi le niveau actuel d'adoption de BIM et quels sont les objectifs de l'entreprise concernant la maquette numérique, désignation française pour l'acronyme BIM. Il est expliqué l'importance du travail collaboratif pour les différentes équipes de l'entreprise étendue.

Le Chapitre 5 consiste à expliquer les tâches réalisées au cours de ce travail. Il est aussi illustré comment est assurée la collaboration avec le logiciel Revit. Ce chapitre explique enfin les tests que l'entreprise a réalisés pour l'adoption du PLM.

Le Chapitre 6 conclut ce mémoire par une synthèse des thèmes abordés pendant l'élaboration de cette étude. Il ouvre la voie pour sensibiliser les entreprises de construction de l'importance du BIM pour augmenter la productivité interne et ainsi de pouvoir répondre aux appels d'offres en étant plus attractif pour les clients. Il vise aussi à expliquer l'importance du travail collaboratif pour l'évolution des méthodologies BIM dans le secteur en général et au sein de Bouygues Construction en particulier.

# 2

## ETAT DE L'ART

### 2.1. LEAN CONSTRUCTION

#### 2.1.1. LEAN

Des exemples de standardisation existent depuis longtemps, le premier exemple de standardisation connu est celui de la fabrication des galères au XV<sup>ème</sup> siècle, époque où l'arsenal de Venise a standardisé des processus en flux continu. La grande révolution des méthodes de production est survenue quand Henry Ford a conçu la première ligne d'assemblage en flux continu en 1913 aux États-Unis plus précisément au nord de Detroit. Les pièces sont alors transportées sur un tapis roulant, évitant une perte de temps (Figure 2.1). Henry Ford a donné le nom de Fordisme au modèle d'organisation et de développement de l'entreprise inspiré sur les méthodes du Taylorisme, qui ont été inventées par un ingénieur américain Frederick Winslow Taylor. Son concept introduit déjà des solutions de division du travail à des tâches simples et répétitives et une stratégie de paiement des employés prenant en compte leur productivité. [1]

Le Fordisme fut bien plus qu'une révolution de la production. Henry Ford pensait que les méthodes de l'ingénieur Frederick Taylor n'étaient pas complètement abouties, Ford était persuadé qu'il fallait viser la classe sociale la plus nombreuse afin de faire une production de masse pour une consommation de masse. Donc la stratégie de Henry Ford pour augmenter la productivité, fut de s'appuyer sur un processus de production standardisé en masse à l'aide de pièces interchangeables. Pour atteindre son objectif Ford a introduit des principes très importants dans le développement de l'entreprise. Les trois socles du Fordisme sont la division du travail, la standardisation et l'amélioration des conditions de travail des ouvriers [2]:

- La division du travail : verticale par la séparation de la conception de la réalisation et horizontale par des tâches séquencées et l'apparition de la ligne de montage. La division du travail peut se résumer aux principes du travail à la chaîne avec la position fixe des ouvriers.
- La standardisation : standardiser les produits avec des pièces interchangeables a favorisé la production en masse. Ce point est essentiel pour l'augmentation des bénéfices de l'entreprise puisqu'avec la production en masse Ford a pu acheter des pièces en masse dont les prix ont baissé.
- Amélioration des conditions de travail des ouvriers : augmentation du salaire des ouvriers et augmentation du temps libre des ouvriers. L'augmentation du pouvoir d'achat et du temps libre permet de stimuler la demande et d'augmenter la consommation. Le but est que les ouvriers puissent acquérir et utiliser les produits qu'eux-mêmes produisent.



Figure 2.1– Ligne d'assemblage inspiré sur le Fordisme [2]

Le Fordisme fut bien plus qu'une révolution des méthodes de production dans l'industrie automobile, il est directement lié à la croissance des principales économies mondiales, connues comme la période des 30 glorieuses, et aussi associé aux développements territoriaux et démographiques des grandes villes.

La croissance économique des grandes villes s'explique souvent par l'attractivité de leur marché, encourage les entreprises à investir dans les villes diminuant les coûts de transport des biens échangés, augmentant ainsi la demande qui est essentielle pour que les populations viennent s'installer dans les villes. Detroit, la Ville où Henry Ford a implanté la production en chaîne est un exemple de développement des Villes Fordistes qui voient de nombreuses entreprises s'installer dans leurs murs et une énorme affluence de la population arriver vers ces villes. Le Fordisme est très important dans l'histoire du monde industriel, les industries manufacturières comme l'industrie textile, sidérurgie, et énergétique ont eu une augmentation substantielle de leur productivité après s'être appuyé sur le Fordisme pour développer leurs industries. La Première Guerre mondiale a participé à la genèse du modèle d'Henry Ford : la plupart des pays en guerre ont adopté la production en chaîne pour la fabrication de matériel d'artillerie. A la fin de la Première guerre mondiale, l'économie américaine est montée en puissance et a profité de la fragilisation des pays européens en implantant le Fordisme comme stratégie de développement du pays.

Après la Seconde Guerre mondiale de nombreux pays sont profondément touchés. Les plus touchés sont les pays européens et asiatiques comme l'URSS, l'Allemagne, le Royaume-Uni, la France et le Japon. Les pays occidentaux européens se sont reconstruits avec l'aide des États-Unis qui ont mis en place le plan Marshall, officiellement appelé « Programme de rétablissement européen ». Le Japon est plus isolé et a dû trouver un autre moyen de se relever de cette guerre.

Toyota qui était une petite entreprise du secteur de l'automobile traverse alors une profonde crise comme l'ensemble du pays. Toyota a alors une vision stratégique pour relancer l'économie non seulement de son entreprise mais aussi du Japon. L'origine de cette vision stratégique commence quand le fondateur de Toyota, Sakichi Toyoda, s'intéresse aux lignes de montage automobile créé par Ford, ce fut avec l'aide de son fils Kiichiro Toyoda et l'ingénieur Taiichi Ōno qu'ils étudient la production de masse en tenant en compte la réalité de leurs économies.

Le rôle de l'ingénieur Taiichi Ōno a été fondamental pour ce travail : il a voyagé jusqu'aux États-Unis pour visiter l'entreprise Ford Motor et s'est aperçu que le Fordisme n'était pas applicable au Japon par manque de ressource humaines, matérielles et économiques suite à la Seconde Guerre Mondiale. Face



à cette réalité, Taiichi Ōno et son équipe ont inventé un système de production qui est à la fois plus adapté à l'économie japonaise et qui résout le grand inconvénient du Fordisme à savoir le manque de diversification de produit. Ce nouveau système de gestion de production est appelé Toyota Production Système (TPS).

Le Toyota Production Système reste un modèle de production de masse avec quelques innovations simples comme l'amélioration continue, l'élimination des gaspillages et des défauts de production. Cette nouvelle stratégie est considérée aujourd'hui encore comme l'un des plus performantes au monde. Le TPS est considéré comme un système dynamique en constante évolution et adaptation aux marchés et aux nouvelles technologies. Le système TPS s'appuie sur deux piliers fondamentaux, « le Juste-A-temps » et « l'Automatisation ou Jidoka » (Figure 2.2).

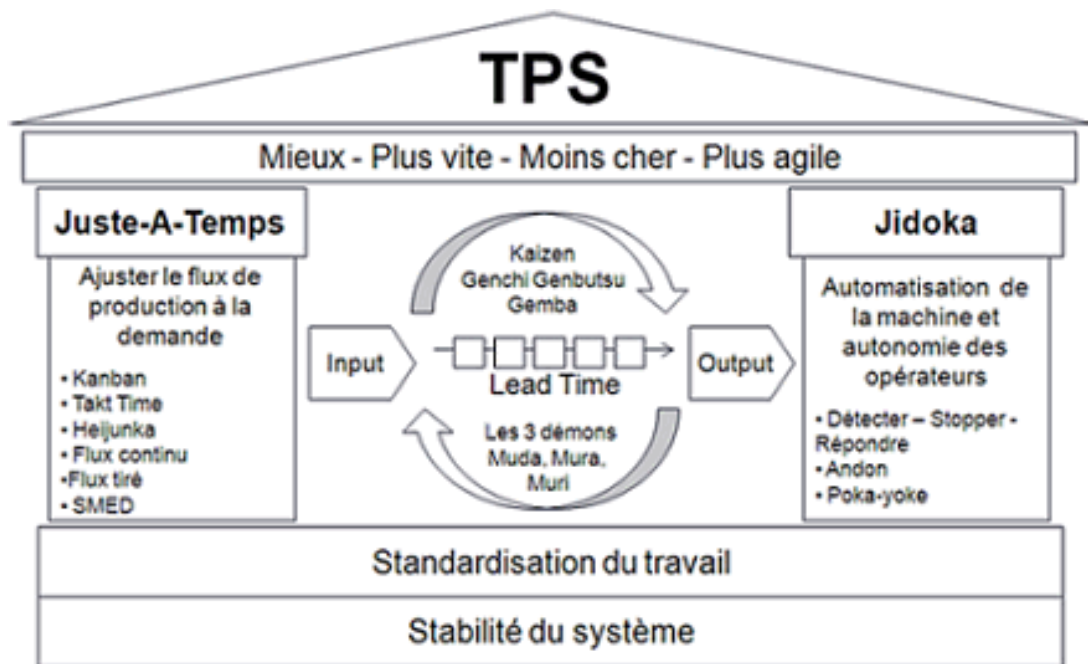


Figure 2.2– Représentation schématique du Système de Production Toyota (TPS) [3]

Le principe du « Juste-A-temps » est d'ajuster le flux de production à la demande, produisant ce qu'il faut au bon moment et au bon endroit. Le pilier « Juste-A-temps » est divisé par six principes :

- Le Kanban, système d'étiquette qui indique le nombre de pièces à produire ou à livrer ;
- Le Takt Time, permet de définir une cadence de production ;
- Le Heijunka ou lissage de la production, permet d'équilibrer le programme de l'entreprise, les commandes sont prises sur une période de temps et lissées pour assurer une production constante en évitant ainsi de payer des heures supplémentaires, déstresser les ouvriers et de surutiliser les équipements face à une demande élevée ;
- Flux continu, est un processus de production associés à un flux pièce à pièce ;
- Flux tiré, gestion de production avec l'optimisation des stocks et des délais ;
- SMED, Single Minute Exchange of Die, qui veut dire changement de matrice en une seule minute, a pour objectif de réduire le temps de substitution de l'équipement face à un changement de séries ou pour le maintien de l'équipement.

Le deuxième pilier connu comme « Jidoka ou Automatisation » introduit la variante machine mais pas comme substitution de l'Homme mais comme un outil complémentaire afin d'augmenter la productivité. Le « Jidoka » est divisé en trois visions stratégiques [3]:

- Détecter-Stopper-Répondre, donné à l'opérateur ou à l'équipement plus de responsabilité et d'autonomie pour pouvoir intervenir à chaque fois qu'une anomalie est observée ;
- L'Andon, autonomie de la machine de s'arrêter toute seule en cas d'anomalie et de signaler le défaut à l'opérateur ;
- Le Poka-Yoke, Le défaut est évité par chaque ouvrier.

En complémentarité avec ces deux piliers, le TPS propose aussi des démarches de stratégie d'entreprise comme l'amélioration continue ou et de traiter les pertes de productivité connues comme les 3 démons, le *Muda*, le *Mura* et le *Muri* qui sont respectivement le démon du gaspillage, le démon de l'irrégularité et le démon de l'excès.

Le socle de la philosophie Lean ou alors la fondation de la « Maison TPS » est la standardisation, la standardisation est vue par les créateurs du TPS comme le levier pour augmenter la productivité des entreprises vu qu'elle permet de systématiser les processus des entreprises.

La répétition des mêmes processus permet d'acquérir plus d'expérience et d'améliorer au fil du temps ces mêmes processus. Pour cela il est essentiel que le changement soit fait d'une façon stable, les processus sont améliorés de façon progressive sans rompre immédiatement avec les anciens processus et avoir l'opportunité d'étudier à chaque pas les progrès et à tout moment de pouvoir revenir en arrière sans grande perte.

#### 2.1.2. PARTICULARITES DU SECTEUR DU BTP [4]

Aborder la philosophie *Lean* pour le secteur de la construction nécessite d'abord d'analyser les principales différences entre le secteur de la construction et l'industrie manufacturière qui est la base de cette philosophie.

Le secteur de la construction est un secteur particulier avec énormément de variantes, les principaux aspects qui le singularise des industries manufacturières sont essentiellement dus à la complexité du métier, à la dimension des constructions et au manque de standardisation. Koskela et Howell ont attribué trois aspects importants qui distinguent l'industrie de la construction des autres.

La première grande différence est liée au local de construction, la production d'un produit n'est quasiment jamais réalisée sur le lieu d'utilisation finale. Elle est fabriquée en usine et ensuite transportée et assemblée sur un site différent. La valeur ajoutée de ces produits est créée tout au long de ces assemblages qui permettront de construire le produit final.

Le secteur de la construction vit une situation différente, la plus grande partie des constructions sont encore faites sur site. Les infrastructures plus complexes comme les constructions des ponts ont déjà un pourcentage considérable de préfabrication au contraire des constructions de bâtiments collective par exemple (Figure 2.3).



Figure 2.3 – Aéroport Roundabout Pont BR001 [5]

Le deuxième point important est la production d'un livrable unique, dans le secteur manufacturier un travail de standardisation notable a été réaliser limitant ainsi la personnalisation totale par les clients. L'industrie de la construction n'a pas évolué dans ce sens, chaque projet est unique et le client à une forte implication sur la conception du projet, généralement il personnalise son projet ce qui empêche le développement de la standardisation dans le secteur. Il est évident que le niveau de standardisation et d'industrialisation de cette industrie n'atteindra probablement jamais les niveaux atteints par l'industrie manufacturière vu que chaque projet doit être conçu différemment selon entre autres, sa localisation et son site d'implantation.

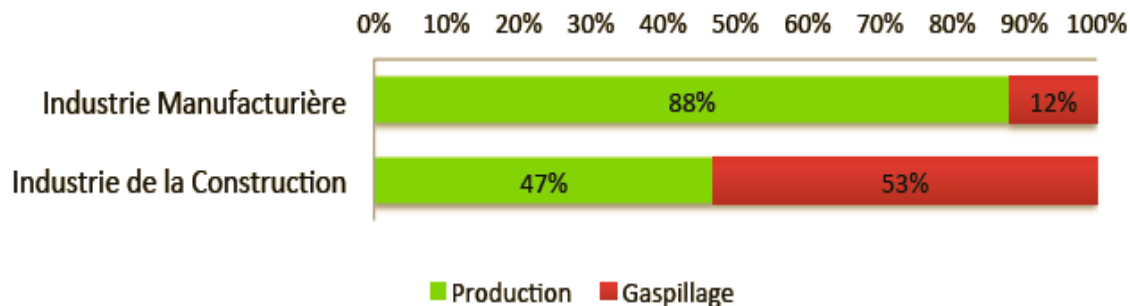
Le troisième point observé par cette étude est la complexité technique et de gestion surtout dû à l'importante fragmentation du secteur. Le secteur de la construction doit faire face à de nombreuses difficultés tout au long d'une construction, notamment le fait d'avoir plusieurs entreprises sur le même site exige plus de collaboration et d'entente et souvent la demande de composants peu industrialisés exige une planification plus complexe et plus risquée.

Le secteur de l'automobile est l'un des exemples à suivre et tout au long de ce travail il sera possible de l'observer. L'augmentation de la productivité du secteur sera fortement liée à l'amélioration des processus de travail traditionnel et sur toute la chaîne de production des matériaux. L'écart entre le coût d'un projet qui est standardisé qui nécessite uniquement de petits ajustements et le coût d'un projet unique où on ne peut réutiliser que quelques parties de projets précédents, est très important. Il faut être aussi conscient que le secteur de la construction est un secteur qui produit dans la majorité des cas des prototypes, donc il ne pourra jamais y avoir une activité identique à celle du secteur manufacturier, mais essayer d'adapter des philosophies qui pourraient améliorer le secteur de la construction.

### 2.1.3. LEAN CONSTRUCTION

Le Lean Construction est un terme adopté par les acteurs du secteur du BTP pour désigner l'adoption des philosophies du Lean Production dans le secteur de la construction et de l'ingénierie, le terme Lean Construction a commencé à être employé en 1992 dans rapport technique développé par un chercheur finlandais Lauri Koskela. Le terme Lean n'a pas une traduction exacte en français, la traduction plus proche du Lean est « maigre », « sans gras », ce terme a été donné par une équipe de chercheurs du MIT, Massachusetts Institute of Technology en 1987 au système de production Toyota (TPS). Le Lean Construction peut se traduire ainsi comme une construction sans matière grasse soit, une construction sans gaspillage. Ce terme est une philosophie d'approche à une théorie de gestion de la production diminuant le gaspillage, trouvant un équilibre entre le temps, le prix et la qualité. Même

si l'industrie de la construction est différente de l'industrie manufacturière, il est possible d'adapter les bases culturelles de la philosophie Lean dans la construction. L'industrie de l'AIC possède un pourcentage de gaspillage beaucoup trop élevé (voir Figure 2.4).



Source : Construction Industry Institute

Figure 2.4 – Valeur ajoutée de l'industrie de la construction et manufacturière [4]

Les principaux objectifs de la philosophie Lean Construction s'adaptent parfaitement à l'actualité du marché de la construction et de l'ingénierie avec le besoin d'être plus que jamais compétitifs en augmentant la productivité de l'entreprise. Koskela présente les 11 principes fondamentaux du Lean construction pour augmenter la productivité [6]:

1. Réduire le nombre d'activités qui n'ajoutent pas de valeur ;
2. Augmenter la valeur du produit du point de vue du client ;
3. Réduire la variabilité ;
4. Réduire le temps de cycle ;
5. Simplifier par la réduction du nombre d'étapes ou d'éléments ;
6. Augmenter la flexibilité ;
7. Accroître la transparence du processus ;
8. Contrôler la mise au point dans le processus global ;
9. Introduire l'amélioration continue dans les processus ;
10. Maintenir l'équilibre entre les améliorations des flux et des conversions ;
11. Benchmarking ;

La philosophie du *Lean Construction* est aussi utilisée pour optimiser la gestion de projet dans le secteur du BTP. Les difficultés associées à la gestion de projet dans ce secteur est la complexité de gérer à la fois un flux de matériels et un flux humain. Les gaspillages dus à la gestion de projet identifiés par les principaux promoteurs de la gestion de projet « *Lean* » sont les suivants :

- Sous-utilisation des talents ;
- Attente d'informations ;
- Transfert de l'information (manque de traçabilité) ;
- Information superflue ;
- Comportements déficients ;
- Perte de bonnes idées ;
- Réalisations non appréciées par le client ;
- Résistance au changement
- Situation d'arrangement avec les moyens du bord ;
- Non-gestion des perceptions. [7]

Le *Lean Construction Institute* a réalisé un travail pour optimiser la gestion de projet dans l'industrie de la construction, s'appuyant sur deux principes de base et à partir de ces principes ils ont développé quatre outils principaux pour la gestion de projet. Les principes de base pour faire évoluer la gestion de projet sont :

- La gestion de projet peut se gérer comme un système de production contrôlant chacune de ses étapes afin de maximiser la réelle valeur de ces étapes et par conséquent minimiser les pertes.
- Plus de mobilisation pendant la phase de conception et d'adaptation pendant la réalisation, en adoptant des méthodes de travail plus collaboratives.

De ces deux principes quatre outils ont été développés,

- *Last Planner System* (LPS), le système du dernier planificateur, celui qui réalise le travail le planifie ;
- *Theory of constraints de Goldratt* (TOC), la gestion de la chaîne critique, gérer mieux l'ouvrage et diminuer les temps d'attente en planifiant comme contrainte principale les ressources et non le temps ;
- *Earned Value Running* (EVR), mesure de la performance, réaliser plusieurs points de situation pendant la période de contrôle de chaque tâche ;
- *Integrated Project Teams* (IPT), les équipes intégrées, former l'équipe des intervenants du projet plus en amont.

Le LPS, le système du dernier planificateur, est vu comme l'outil le plus important par nombreux acteurs du BTP vu qu'il existe plusieurs cas de succès, les principaux bénéfices observés par les entreprises sont surtout dus au développement du travail collaboratif. Le LPS est principalement un système de contrôle de la production, ce système cherche à atténuer les variations des flux de travail en développant les tâches plus répétitives et réduisant les tâches qui le sont moins.

Les autres outils même s'ils ne sont pas autant appliqués sont aussi importants : ils insèrent des philosophies intéressantes pour le développement des entreprises.

C'est à partir de ces deux principes et ces quatre outils que le *Lean Construction Institute* a développé et documenté un système de livraison de projet qui s'applique à tous les types de projet de construction, ce système est appelé le *Lean Project Delivery Système* (LPDS), qui se traduit par système de livraison de projet. Ce système de livraison de projet intervient sur les cinq principales phases d'un projet comme il peut être vu sur la figure suivante.

Le LPDS peut se résumer à l'assemblage des quatre outils qui supportent les deux principes pour un projet « Lean » :

- Un projet se construit et se contrôle à l'identique d'un processus de création de valeur ;
- Favoriser les échanges fréquents des expériences de chaque métier ;
- La mobilisation des collaborateurs des travaux pendant les phases de conception ;
- Intégrer dans une phase plus amont tous les intervenants du projet comme les fournisseurs et les sous-traitants ;
- Mise au point de l'avancement du projet plus fréquente afin d'intervenir le plus rapidement possible sur des possibles dérapages ;
- L'ingénierie simultanée ou concurrente est favorisée.

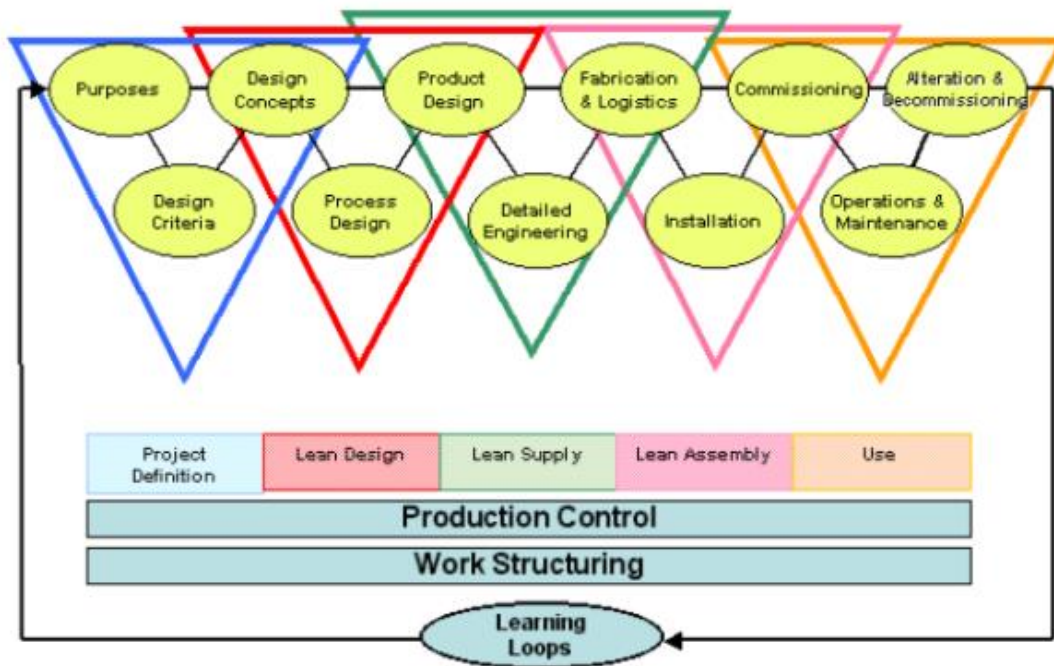


Figure 2.5 – Structure du Lean Project Delivery System [4]

## 2.2. BIM- BUILDING INFORMATION MODELING

### 2.2.1. ENCADREMENT DU CONCEPT BIM

Le concept BIM est aujourd'hui en ascension et associé à l'innovation mais ce concept n'est pas nouveau, il aurait été déployé aux Etats-Unis à la fin des années 70 avec des publications d'articles du Professeur Charles M. Eastman [8]. Il existe beaucoup de théories autour de l'invention du terme BIM : l'une d'entre elles serait que l'Architecte Phil Bernstein, conseillé chez Autodesk, aurait été le premier à utiliser l'expression BIM et Jerry Laiserin un analyste de l'industrie, l'aurait alors aidé à standardiser et à insérer ce terme dans l'industrie de l'architecture, l'ingénierie et la construction. [9]

L'acronyme BIM est sans doute l'acronyme le plus utilisé en ce moment dans le monde de la construction mais la plupart des acteurs du secteur le lie à un simple modèle 3D, ou à un simple logiciel. En effet beaucoup de personnes associent le BIM à un logiciel, c'est pour cela que la définition du BIM est nécessaire.

*Building Information Modeling* ou *Building Information Model* (BIM), aussi intitulé modèle Maquette Numérique du Bâtiment (MNB) ou encore Bâtiment et Information Modélisés en français peut être défini comme une technologie avec des processus associés pour produire, communiquer et analyser des modèles de construction afin de centraliser toute l'information sur un fichier unique. Certains promoteurs du BIM distinguent ces deux acronymes définissant le *Building Information Model* comme la représentation digitale des caractéristiques fonctionnelles et physiques, c'est comme l'avatar du bâtiment, tandis que le *Building Information Modeling* est vu comme la méthode pour réaliser le modèle, quand et comment interviennent les collaborateurs et comment chaque acteur doit mobiliser. Le BIM est aussi vu comme le *Building Information Management*, même si cette définition de l'acronyme n'est pas souvent utilisée. Plusieurs acteurs intègrent aussi la partie de gestion du projet dans l'application du BIM en la définissant comme l'organisation et le contrôle de toute l'information qui est insérée tout au long du cycle de vie d'un projet.



L'application de la maquette numérique s'appuie sur un logiciel de modélisation dynamique en trois dimensions qui sert de fichier unique d'intégration des informations du bâtiment. Le BIM est plus qu'un modèle de visualisation en 3D, le dessin n'est plus seulement de simples lignes ou volumes, il est associé à des objets. Le BIM est donc une maquette numérique qui est composée par des objets paramétrés durant le cycle de vie de la construction, qui contiennent toutes les informations essentielles, que les différents acteurs doivent connaître tout au long du projet, de forme structurée afin de pouvoir obtenir les modifications du projet en temps réel [10].

Basé sur des processus de travail innovants et une maquette numérique virtuelle 3D, le BIM permet d'amener le secteur du BTP au niveau des industries très performantes comme par exemple l'industrie automobile ou aéronautique. Ce référentiel est considéré par beaucoup de personnes comme la nouvelle génération des outils de CAO, qui vient d'une certaine façon répondre à la nécessité actuelle du secteur, qui a besoin de créer des modèles standardisés de processus de bâtiment central.

Le BIM peut alors se résumer à une base de données, enrichie et partagée par tous les intervenants, afin d'associer sur un même référentiel les objets composant le bâtiment, leurs caractéristiques et leurs relations. Il permet d'augmenter la productivité dans la conception des bâtiments, la construction et l'exploitation. Ainsi la maquette numérique est la base pour la production de tous les documents (voir Figure 2.6)

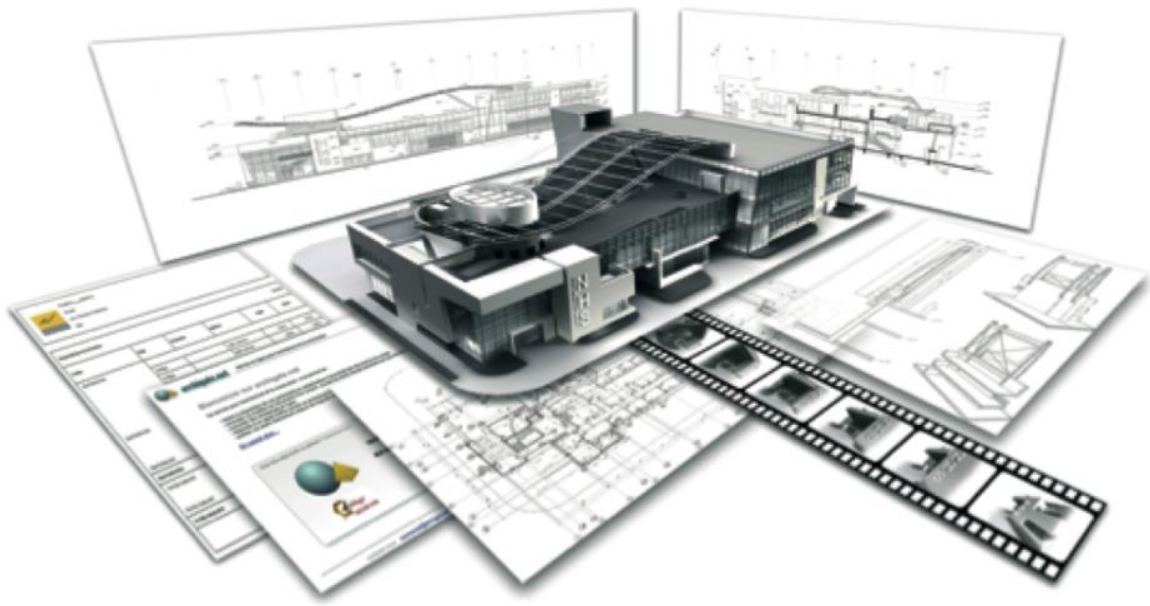


Figure 2.6 – La maquette numérique dans la construction [11]

L'avènement des processus BIM n'est pas qu'un changement de logiciel mais un changement du métier qui concerne tous les acteurs du secteur. Dans ce secteur les principaux acteurs liés directement et indirectement sont nombreux, cela dépend du type de projet, mais généralement les acteurs sont les suivants:

- Maîtres d'ouvrage ;
- Architecte ;
- Ingénieurs de l'entreprise générale ;
- Maître d'œuvre ;

- Les Fournisseurs ;
- Les Fabricants ;
- Les promoteurs immobiliers ;
- Les Banques ;
- Les assurances ;

Les processus BIM sont en constante évolution et cela est dû à plusieurs facteurs, d'une part l'évolution des technologies informatiques qui permettent d'optimiser et d'élargir le champ d'application de ces processus et d'autre part les acteurs s'intéressent de plus en plus à ces processus. Des initiatives gouvernementales sont aussi apparues pour favoriser l'adoption de cette technologie. En observant la figure ci-dessous il est possible voir que les entreprises adhèrent de plus en plus au BIM.

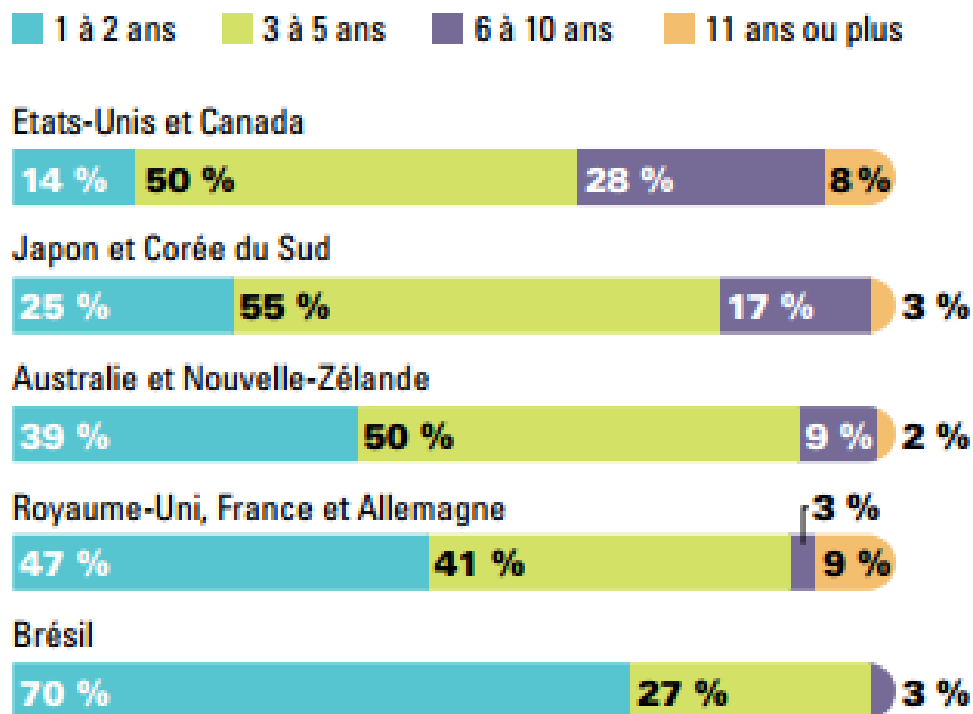


Figure 2.7– Pourcentage du temps d'adoption du BIM [12]

### 2.2.2. INTEROPERABILITE

La base des méthodologies BIM est que les différents logiciels soient compatibles, cela dépend de l'interopérabilité. L'interopérabilité est la capacité qu'un système possède à échanger des informations avec d'autres systèmes, afin de travailler ensemble et contribuer au développement du projet [13]. Il est essentiel que pendant le partage d'informations il n'y est pas d'erreur afin de permettre une automatisation correcte. Ce terme provient de la capacité d'un système à faire fonctionner un autre, et vice versa.

Le succès du BIM dans l'industrie AIC dépend en grande partie de la capacité d'en retirer des informations importantes à partir d'autres modèles BIM, et la possibilité d'utiliser et de partager avec plusieurs intervenants de la conception à l'exploitation en passant par la construction. N'importe quelle application BIM peut donc relire et transcrire les autres applications BIM dans leur propre format.



L'interopérabilité est aussi essentielle par le fait qu'il existe un grand nombre d'étapes tout au long d'une construction et que chaque acteur utilise le logiciel le plus adapté à son travail et au fur et à mesure du déroulement du projet, chaque intervenant introduit de nouvelles informations qui doivent être partagées et éditables par tous les acteurs (Figure 2.8).

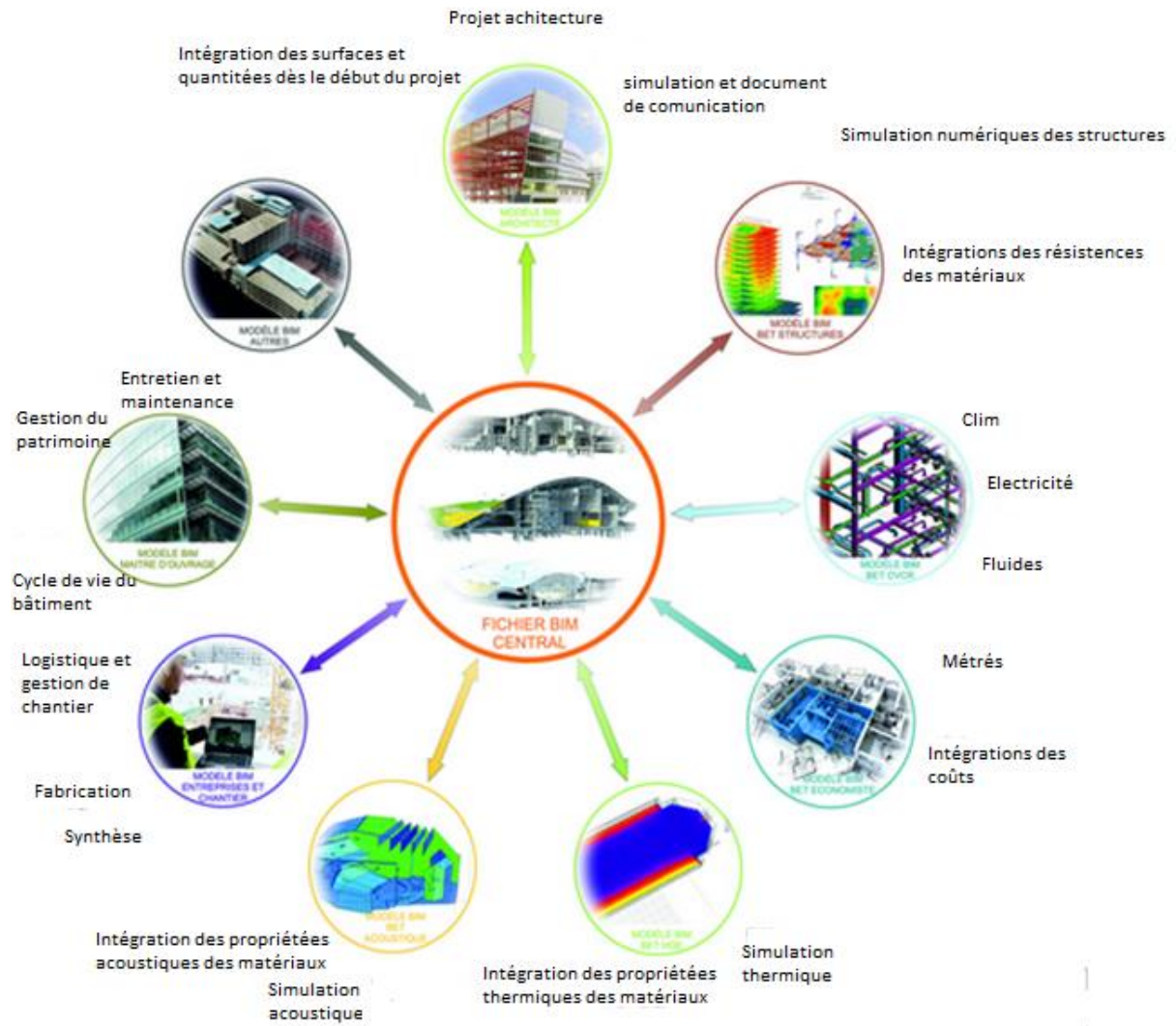


Figure 2.8 – Échanges de données au long d'un projet [adaptée de 14]

Les problèmes d'interopérabilité entre les logiciels d'ingénierie existent depuis l'introduction de CAD dans les années 70 : à l'époque les logiciels de CAD avaient du mal à communiquer avec les autres logiciels de l'entreprise. Actuellement avec l'adoption du BIM, l'utilisation des technologies de l'information (TI) et des outils de calcul automatique et de simulation ont augmenté significativement et les problèmes d'interopérabilité sont réapparues [15].

L'interopérabilité identifie la nécessité de transférer des données entre les applications et élimine la nécessité de répéter l'introduction de données tout au long du cycle de vie d'un projet. La méthodologie proposée pour résoudre les problèmes de ce type dans le secteur du BTP se développe essentiellement autour de l'intégration d'applications qui permettent le partage et l'échange de données de produits.

Un exemple d'interopérabilité réussie est le téléphone mobile, il permet de communiquer sans difficulté entre les différents opérateurs, tout cela a été possible parce que les opérateurs ont tous adopté des standards informatiques identiques. Le secteur de la construction est encore loin de ce niveau car chaque acteur travaille avec des logiciels différents qui communiquent encore mal entre eux, bien que durant ces dernières années cette communication s'est améliorée. [16]

Le manque d'interopérabilité entre les différents outils est une source d'erreurs qui fait monter le coût du projet. En moyenne il est estimé que les coûts dus à l'absence d'interopérabilité remontent à 3,1% de l'investissement global des phases d'études [17].

Selon l'American Institute of Architects, les principales conséquences d'absence d'interopérabilité de logiciel sont :

- Accroissement des dépenses de l'industrie AIC et pour les propriétaires des formations et des requalifications professionnelles dans les multiples plateformes ;
- Les gaspillages de temps, de matériaux, d'énergie et d'argent vont augmenter ;
- La productivité de l'AIC continuera son déclin avec la réintroduction de données, plusieurs versions et vérifications de documents et d'autres problèmes avec la croissance de flux de travail ;
- Le manque de concurrence peut produire moins de solutions logicielles souhaitables pour les pratiques commerciales de soutien aux intervenants ;
- Les utilisateurs peuvent perdre dans le futur l'accès aux fichiers ;
- Les modèles de prestation de collaboration seront tels que la réalisation de projet intégrée ne bénéficiera pas de ce modèle.
- L'industrie du logiciel ne saura pas atteindre de développement solide de l'analyse et des outils de simulation et interfaces nécessaires pour servir l'industrie en grande croissance.

D'après l'AIA, les architectes doivent travailler avec des logiciels avec lesquels les travaux demandés par les clients s'adaptent le mieux, mais ces logiciels doivent être capables de partager l'information avec les autres logiciels du secteur de AIC. L'AIA estime que ce sont les fabricants de logiciels qui doivent fournir des programmes avec des normes ouvertes non propriétaires capables de partager des informations et recevoir des informations sans qu'aucune donnée ne soit perdue pendant l'échange entre les outils. [18]

Malgré les tentatives de garantir l'interopérabilité des outils existant autour du processus BIM, il y a encore beaucoup de complications, comme il sera possible de le voir au long de ce travail. La normalisation est considérée comme la résolution pour assurer l'interopérabilité technique, afin d'éliminer ces contretemps pendant les importations et exportations faites au long du projet [19]. Le combat contre les problèmes d'interopérabilité s'appuie principalement sur les formats IFC (Industry Foundation Classes), qui seront expliqués dans la prochaine section du travail, mais il y a encore un grand manque de maturité de ces modèles qui laissent à désirer au niveau des qualités d'échanges de données. Ils ne sont pas encore au niveau souhaité par les acteurs du secteur du BTP.

L'IFC n'est pas l'unique démarche pour résoudre les problèmes d'interopérabilité, de nombreux projets sont en développement, entre autres, l'*Omniclass*, *International Framework for Dictionaries* (IFD), *Construction Operation Building Information Exchange* (Cobie).

### 2.2.3. FORMATS STANDARD

Les deux principaux formats développés par l'association buildingSMART sont les IFC et IFD, l'Industry Foundation Classes, est née pour résoudre les problèmes d'interopérabilité. Cette initiative a

été lancée par l'International Alliance for Interoperability (IAI) qui a passé les 20 dernières années à établir des normes pour créer des standards nécessaires pour l'utilisation des technologies introduites dans le secteur de la construction. La nécessité de créer des modèles standards a stimulé la création en 1995 de BuildingSMART qui est responsable pour le développement des IFC. Le BuildingSMART s'appuie énormément sur les normes STEP. Cette norme ISO 10303 a été créée dans le but de décrire un produit au long de son cycle de vie et indépendamment des systèmes informatiques utilisés. Le développement de BuildingSMART a adopté plusieurs résultats de la norme STEP, « Standard for Exchange of Product data », comme par exemple :

- L'utilisation du même langage de programmation, où sont décrites les différentes versions IFC, EXPRESS et EXPRESS-G ;
- Le format de fichier IFC, format neutre, est décrit dans la partie 21 de la norme ISO 10303 [20];

L'IFC peut être défini comme un standard de partage de données de construction et de gestion de la construction dans l'industrie de la construction, permettant de réduire la perte d'informations entre les partages de données entre différents logiciels, et donc de minimiser la quantité de données à réinsérer (voir Figure 2.9).

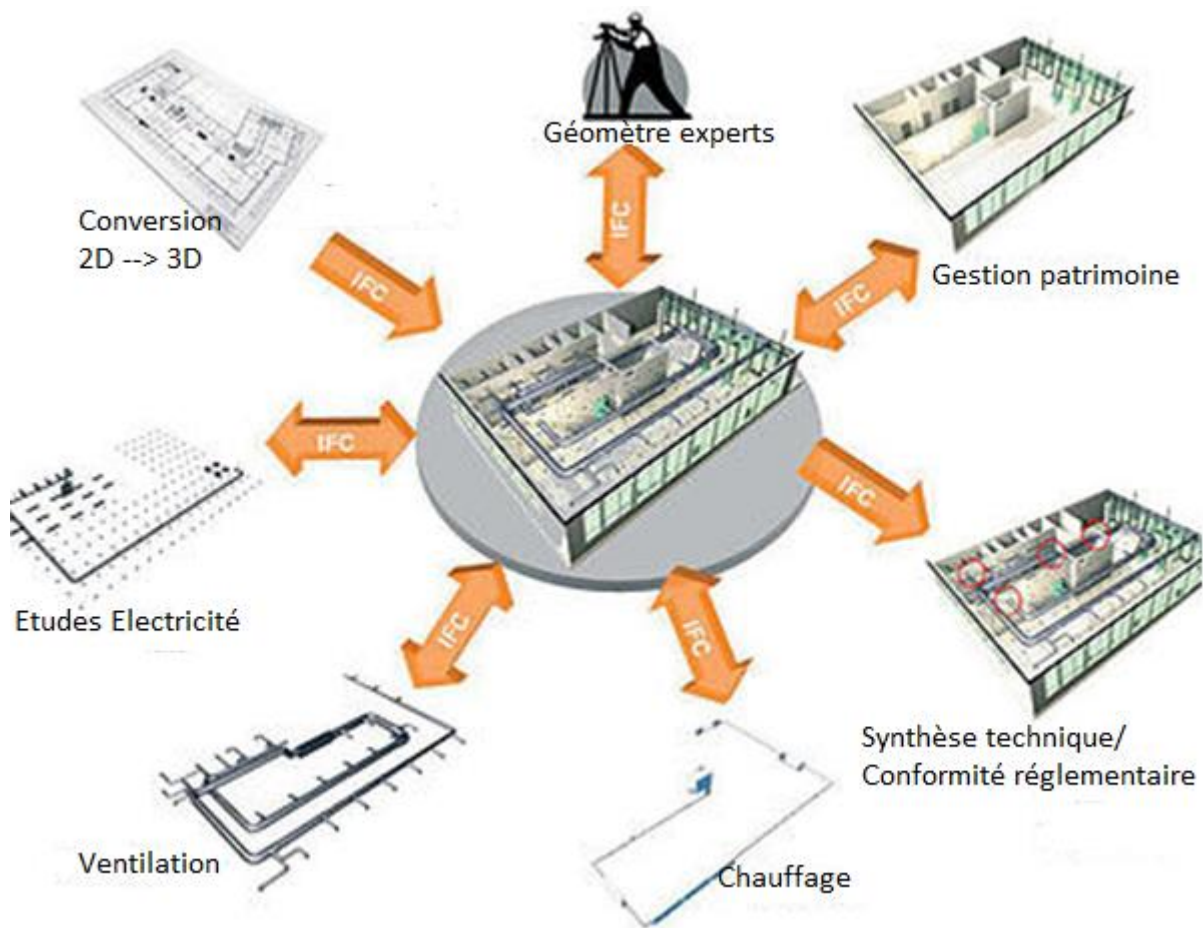


Figure 2.9 – Les échanges de données via les IFC [21]

Le Format IFC étant défini par une norme internationale permet de garantir une universalité et stabilité remarquable. Dans l'objectif de donner la confiance aux utilisateurs et aux développeurs de logiciels

qui s'intègrent dans le processus BIM, buildingSMART a implanté un processus de certification officielle des logiciels, permettant aux éditeurs de logiciels d'afficher le logo de certification buildingSMART sur les emballages de leurs produits. Les certifications sont basées sur des phases d'auto validation automatiques et des vérifications manuelles par l'équipe de certification de buildingSMART International.

Pour adopter des processus de travail collaboratif, il est important de travailler avec des logiciels BIM-IFC, afin de garantir un parfait partage d'informations entre les différents acteurs de l'industrie de la construction. Le Tableau 2.1 permet d'observer les logiciels certifiés et ceux qui sont en cours de certification.

En mars 2013 les IFC ont reçu le label « ISO 16739 », cette norme représente le format IFC4, après avoir obtenu l'approbation de la labellisation en Septembre 2012. Cette normalisation converge avec les principaux objectifs du BIM, elle intègre de nouvelles classes pour faciliter les acteurs pendant l'intégration des modèles de SIG ainsi qu'un modèle de description de pont.

Dans l'application du BIM, le format IFC, standard ouvert compréhensible aux intervenants du secteur du BTP, permet de décrire des objets, leurs caractéristiques, leurs relations tout au long du cycle de vie d'un bâtiment incluant la conception, les plusieurs documentations de l'affaire, l'exploitation, la gestion des bâtiments, et finalement, la démolition ou le renouvellement de la construction.

Grace aux IFC, les logiciels de CAO, de calculs, de simulation, de gestion d'information, entre autres peuvent communiquer exploitant une seule et unique base de données de l'ouvrage évitant ainsi différentes versions de projets qui sont généralement des sources d'erreurs pour les phases suivantes et amener une meilleure connaissance du projet de tous les intervenants permettant une détection de erreurs potentielles de projets le plus en amont possible dans les phases du projet.

Donc les IFC permettent de travailler sur un référentiel unique et partagé par tous les acteurs, solutionnant les problèmes d'interopérabilité, offrant une harmonisation des données, un enrichissement de la description géométrique et sémantique, l'amélioration de la productivité, l'assurance d'une gestion cohérente de l'ensemble des informations insérées durant le projet.

Comme il a déjà été vu le format principal du BIM est le format IFC, plusieurs formats se sont développés autour de ce format afin de se compléter et augmenter les méthodologies BIM. Le format IFD, *International Framework for Dictionaries*, est un exemple d'un format qui vient apporter sa contribution pour plus de collaboration dans le métier, il est vu comme un format complémentaire à l'IFC, il permet de faire des échanges de données avec plus d'information textuelles. Cela est important par exemple pour les thermiciens lorsqu'ils importent la maquette dans le logiciel spécialisé pour leur métier, le logiciel ne reconnaît pas les différentes pièces et il est donc nécessaire de le faire manuellement.

La figure 2-10, illustre les différentes relations qui permettent d'identifier les différents éléments. Le format IFD permet d'établir le lien entre le modèle et les différentes bases de données contenant les données spécifique de chaque élément et projet. Ce format permet d'enrichir le fichier central en permettant de réaliser des simulations et des analyses plus précises dans les phases en amont.

De plus, l'IFD fournit des conditions pour favoriser les liens IFC-BIM pour les phases de maintenance. La standardisation des formats d'échanges est essentielle et cela passe par une structuration Universale des données. Une structuration de données unique permet que tous les logiciels BIM organisent leurs informations selon les mêmes codes. Face à cette nécessité l'industrie de la construction a vu naître le Système de classification Omniclass, ce système permet de répondre aux

besoins du secteur pour optimiser les méthodologies BIM en offrant une structure de classification pour les bases de données électroniques.

Tableau 2.1 – Listes des logiciels en cours de certification et certifiés [22]

Participants of the official buildingSMART IFC2x3 Coordination View V2.0 certification process				
Software Developer	Software Application	Exchange Requirement	Export/Import	Status
4Projects Ltd.	4Projects	- (*)	Import	in progress
Aconex BIM Cloud	Aconex	- (*)	Import	in progress
Archimen	Active3D	- (*)	Import	in progress
Autodesk	Advanced Steel	Structural	Export	in progress
Autodesk	AutoCAD Architecture	Architecture	Import & Export	in progress
Autodesk	AutoCAD MEP	BuildingServices	Export	in progress
Autodesk	Revit Architecture	Architecture	Import & Export	<b>Export: certified</b> Import: in progress
Autodesk	Revit MEP	BuildingService	Import & Export	<b>Export: certified</b> Import: in progress
Autodesk	Revit Structure	Structural	Import & Export	<b>Export: certified</b> Import: in progress
Autodesk	Revit LT	Architecture	Import & Export	<b>Export certified</b> Import: in progress
Bentley Systems	AECOsium Building Designer	Architecture, BuildingService, Structural	Import & Export	in progress
Cad-Quality	CADIE Sähkökä	- (*)	Import	in progress
DICAD Systeme GmbH	STRAKON	- (*)	Import	in progress
Data Design System	DDS-CAD MEP	BuildingService	Export	<b>Export: certified</b>
Design Data	SDS/2	Structural	Import & Export	<b>Export: certified</b> Import: in progress
Dlupal Software GmbH	RFEM/RSTAB	- (*)	Import	in progress
ETU Software GmbH	HottCAD 4	- (*)	Import	in progress
FirstInVision	CasCADos / P3cad	Architecture	Import & Export	in progress
Gehry Technologies	Digital Project	Architecture	Import & Export	in progress
Glodon Software	Glodon Takeoff for Architecture and Structure	Architecture, Structural	Import & Export	<b>Import: certified</b> Export: in progress
Graphisoft	ArchiCAD	Architecture	Import & Export	<b>Export: certified</b> <b>Import: certified</b> in progress
International Training Institute ITI	Benchmark	BuildingService	Export	in progress
Kymdata Oy	CADS Planner	BuildingService	Export	in progress
NEMETSCHEK Allplan	Allplan	Architecture	Import & Export	<b>Export: certified</b> <b>Import: certified</b> in progress
NEMETSCHEK BIM+	BIM+	- (*)	Import	in progress
NEMETSCHEK Vectorworks, Inc.	Vectorworks	Architecture	Import & Export	<b>Export: certified</b> <b>Import: certified</b> in progress
NEMETSCHEK Scia	Scia Engineer	Structural	Import & Export	<b>Export: certified</b> <b>Import: certified</b> in progress
Progman	MagiCad	BuildingService	Export	in progress
RIB	Arriba CA3D	Architecture	Export	in progress
RIB	ITWO	- (*)	Import	<b>Import: certified</b>
Seokyoung Systems	Navitouch	- (*)	Import	<b>Import: certified</b>
Solibri	Solibri Model Checker	- (*)	Import	<b>Import: certified</b>
Solideo Systems	ArchiBIM Server	- (*)	Import	<b>Import: certified</b>
Tekla	Tekla Structures	Structural	Import & Export	<b>Export: certified</b> <b>Import: certified</b> in progress
think project!	think project! Collaboration cloud	- (*)	Import	in progress
Trimble Germany	Planca nova	BuildingService	Import & Export	<b>Export: certified</b> Import: in progress
VIZELIA	Facility on line	- (*)	Import	in progress



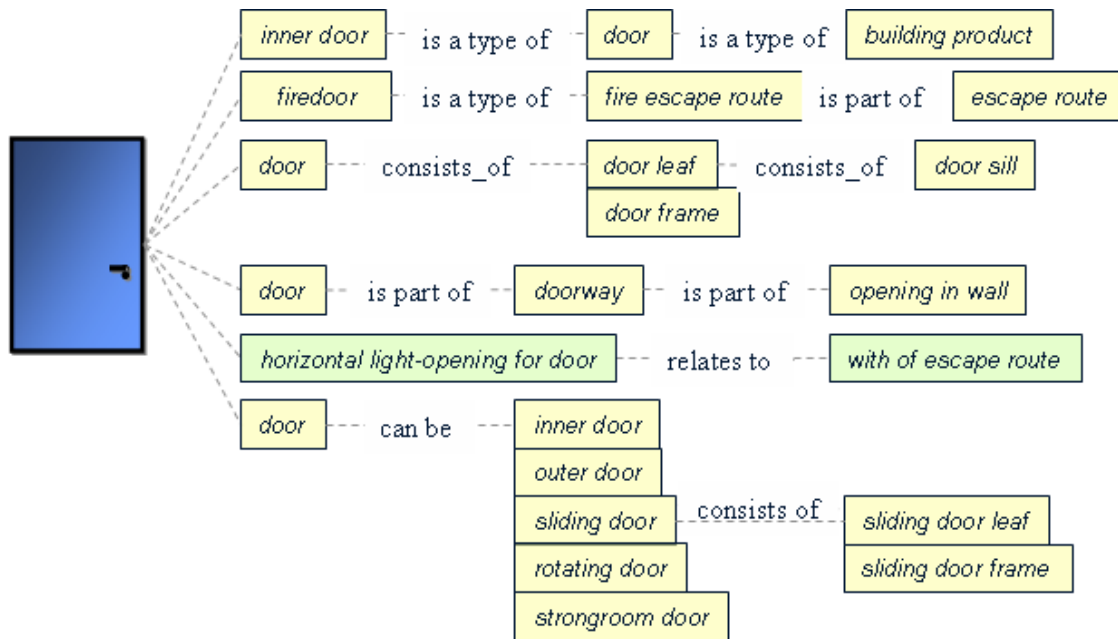


Figure 2.10 – Paramètres pour définir les caractéristiques des portes [23]

Ce système d'information s'est imposé dans le secteur grâce à l'utilisation de buildingSMART dans la réalisation de la norme NBIMS aux Etats-Unis, pays où ce système fut créé. La stratégie des développeurs du système *Omniclass* est d'intégrer les différents systèmes déjà existants dans leurs tableaux afin d'atténuer l'impact de ce changement. Ainsi l'*Omniclass* est constitué par 15 tableaux basés sur les *MasterFormat*, l'*Uniformat* et l'*Electronic Product Information Cooperation* (EPIC).

Les deux premières normes ont été les normes plus utilisées dans le secteur jusqu'à l'arrivée de l'*Omniclass*. Le *MasterFormat* est une norme standard des Etats-Unis et du Canada qui vise, classifie les différentes spécialisations d'activités du secteur et d'autres informations pour les personnes liées aux projets. L'*Uniformat* est une norme qui organise l'information des projets de construction suivant la fonctionnalité des éléments (Tableau 2.2), cette méthode de classification ignore les modes opératoires et les matériaux au contraire d'autres méthodes de classification moins connues. La dernière version de cette méthode de classification est la norme UNIFORMAT II aussi appelé E 1557-02, et la division est faite par trois niveaux différents [24].

L'*Electronic Product Information Cooperation* classifie les produits standards de construction, cette classification est aussi incorporé dans le plus récent système de classification créé au Royaume-Uni appelé *Uniclass 2*.

Ce deuxième système d'information est très proche de l'*Omniclass*, ils sont tous les deux basés sur la norme ISO 12006-2 et possèdent chacun 15 tableaux. La création de différents systèmes d'information n'est pas un standard des méthodologies de la collaboration car l'objectif est de créer un unique format qui permet de garantir la cohérence des caractéristiques de chaque élément extrait de n'importe quel logiciel. Par exemple dans le cas d'une étude thermique, si les deux logiciels possèdent la même structure de l'information, la fiabilité des valeurs est assurée sur l'ensemble de l'échange.

Une démarche a été menée par buildingSMART, créé à partir de l'*Information Delivery Manual* (IDM) et de l'ISO29481-1 :2010 afin de standardiser les processus d'échange et d'optimiser la collaboration. Cette norme ISO est encore en évolution afin de s'adapter aux logiciels [25].

Tableau 2.2 – Classification UNIFORMAT II

## ASTM E-1557-02 : UNIFORMAT II

## TABLEAU DE CLASSEMENT, NIVEAU 1-2-3

ÉLÉMENTS DE TRAVAUX DE BÂTIMENT		
Niveau 1 Groupe majeur d'éléments	Niveau 2 Groupe d'éléments	Niveau 3 Éléments individuels
A INFRASTRUCTURE	A10 Fondations	A1010 Fondations standard A1020 Fondations spéciales A1030 Dalle inférieure
	A20 Construction de sous-sol	A2010 Excavation de sous-sol A2020 Murs de sous-sol
B SUPERSTRUCTURE ET ENVELOPPE	B10 Superstructure	B1010 Construction de plancher B1020 Construction de toiture
	B20 Enveloppe extérieure	B2010 Murs extérieurs B2020 Fenêtres extérieures B2030 Portes extérieures
	B30 Toit	B3010 Couverture B3020 Ouvertures de toit
C AMÉNAGEMENT INTÉRIEUR	C10 Construction intérieure	C1010 Cloisons C1020 Portes intérieures C1030 Accessoires intégrés
	C20 Escaliers	C2010 Construction d'escaliers C2020 Finitions d'escaliers
	C30 Finitions intérieures	C3010 Finitions de mur C3020 Finitions de plancher C3030 Finitions de plafond
D SERVICES	D10 Moyens de transport	D1010 Ascenseurs et monte-charge D1020 Escaliers mécaniques et trottoirs roulants D1090 Autres systèmes transporteurs
	D20 Plomberie	D2010 Appareils de plomberie D2020 Réseau d'eau domestique D2030 Réseau de drainage sanitaire D2040 Réseau de drainage pluvial D2090 Autre système de plomberie
	D30 Chauffage, ventilation et conditionnement d'air (CVCA)	D3010 Source d'énergie D3020 Système de production de chaleur D3030 Système de production de froid D3040 Distribution de CVCA D3050 Unités autonomes ou monoblocs D3060 Régulation et instrumentation D3070 Essai et réglage des systèmes D3080 Autres systèmes de chauffages

Solibrie et Tekla, deux éditeurs de logiciel, ont créé en 2010 un nouveau format pour les visionneuses BIM afin de séparer la communication des messages du modèle central. Ce format, *BIM Collaboration Format*, fut important pour le développement des visionneuses BIM qui jusqu'à l'apparition de ce format étaient contraintes de renvoyer toute la maquette à chaque modification, ce qui nécessitait à chaque échange de données beaucoup de temps pour les utilisateurs pour retrouver où se situait la modification. Actuellement les visionneuses sont essentielles pour la collaboration notamment car la phase d'exécution est la phase la plus importante où naissent beaucoup de doutes à dissiper. Ce format initiés par les deux éditeurs de logiciels est aujourd'hui repris et développé par buildingSMART [26].

Le Royaume-Uni veut s'affirmer comme l'un des leaders mondiaux du BIM. Le gouvernement anglais, avec une forte collaboration du secteur privé, va rendre obligatoire l'utilisation du BIM niveau 2 pour les projets gouvernementaux à partir de 2016. Le niveau 2 du BIM en Angleterre intègre aussi un nouveau format d'échange appelé « COBie », *Construction Operation Building Information Exchange*, qui lui aussi s'appuie sur les définitions IFC. Ce format « Cobie » est comme une feuille de tableur géante qui permet d'organiser l'information, les données non-graphiques utiles aux maîtres d'ouvrage.

Tableau 2.3 – Une partie du format COBie

P1		ExtIdentifier														
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
	Name	CreatedBy	CreatedOn	Category	Description	AssetType	Manufacturer	ModelNumber	WarrantyGuarantorParts	WarrantyDurationParts	WarrantyGuarantorLabor	WarrantyDurationLabor	WarrantyDurationUnit	System	Object	Identifier
1																
2	Supply Diffuser	Bre	2014-07-15	n/a	Supply Diffuser 600 x 600 Face 3	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	Aut	Au	744
3	Ceilings BP958M	Bre	2014-07-15	n/a	Ceilings 600 x 600mm grid	n/a	Armstrong	Tatra Board	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	Aut	Au	198
4	InternalSingleFlush 42	Bre	2014-07-15	n/a	InternalSingleFlush 810 x 2110mm	n/a	Revit	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	Aut	Au	177
5	InternalSingleFlush 43	Bre	2014-07-15	n/a	InternalSingleFlush 1010 x 2110mm	n/a	Revit	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	Aut	Au	177
6	ExternalDoubleFlush 44	Bre	2014-07-15	n/a	ExternalDoubleFlush 1810 x 2110mm	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	Aut	Au	179
7	DoorFoldingRoller 49	Bre	2014-07-15	n/a	DoorFoldingRoller 4000 x 5000	n/a	Woodfold	220 Series	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	Aut	Au	424
8	InternalDoubleGlazed2 52	Bre	2014-07-15	n/a	InternalDoubleGlazed2 1810 x 2110mm	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	Aut	Au	669
9	InternalDoubleGlazed 54	Bre	2014-07-15	n/a	InternalDoubleFlush 1810x2110mm	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	Aut	Au	760
10	Doors IntSgl 2 62	Bre	2014-07-15	n/a	Doors IntSgl 2 910x2110mm	n/a	Revit	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	Aut	Au	788
11	Doors IntSgl 2 64	Bre	2014-07-15	n/a	Doors IntSgl 2 1010x2110mm	n/a	Revit	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	Aut	Au	788
12	ExternalDoubleGlazed 65	Bre	2014-07-15	n/a	ExternalDoubleGlazed 1810x2110mm	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	Aut	Au	821
13	Door Internal-Noberne-Fire	Bre	2014-07-15	n/a	Door Internal-Noberne-Fire Door	n/a	Noberne Doors	Series 7 -	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	Aut	Au	839
14	Rectangular Medium Radius	Bre	2014-07-15	n/a	Rectangular Medium Radius Bend	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	Aut	Au	744
15	Rectangular Concentric Taper	Bre	2014-07-15	n/a	Rectangular Concentric Taper - Flange	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	Aut	Au	744
16	Rectangular - Oval Transformation	Bre	2014-07-15	n/a	Rectangular - Oval Transformation	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	Aut	Au	744
17	Ducts	Bre	2014-07-15	n/a	Ducts Default	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	Aut	Au	682
18	Ducts	Bre	2014-07-15	n/a	Ducts Flanged Radius Bend / Sh	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	Aut	Au	744
19	Metering Switchboard	Bre	2014-07-15	n/a	Metering Switchboard 610mmx660mm	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	Aut	Au	764
20	Floors	Bre	2014-07-15	n/a	Floors Ground Bearing Conc - Ins	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	Aut	Au	454
21	Floors	Bre	2014-07-15	n/a	Floors 160mm Concrete with Cor	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	Aut	Au	185
22	Floors	Bre	2014-07-15	n/a	Floors Finish Tile Ceramic	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	Aut	Au	675
Ready																
Instruction   Contact   Facility   Floor   Space   Zone   Type   Component   System   Assembly   Connection   Spare   Resource   Job   Impact																

Comme il est possible de le voir, le format COBie est identique à une feuille Excel, cela simplifie les échanges avec les outils BIM de modélisation, ce format est utilisé principalement pour la phase de conception, pour faire les études, et pour la phase d'exploitation et maintenance. Le maître d'ouvrage possédera un tableau qui contiendra toute l'information de son projet, y-compris entres autres, des listes de tous les matériaux, les fiches de données de produits, des garanties, des calendriers de maintenance préventive [12]. Donc le format COBie est essentiel pour la gestion du cycle de vie des bâtiments. Les fabricants doivent aussi contribuer à ce changement en fournissant une composante COBie et ainsi les architectes insèrent directement les objets avec cette information facilitant aussi les commandes des matériaux.

Ces systèmes de classification et ces formats d'échanges sont un grand pas vers la standardisation et l'industrialisation du secteur, avec cette organisation de données géographiques et non-géographiques les échanges de données seront optimisés et la fiabilité des échantillons aussi. Pour les entreprises d'ingénieries et de construction ces formats sont essentiels car une grande partie de sa productivité est directement liée à l'exploitation des données des architectes. Avec les démarches faites par les principaux développeurs des méthodologies BIM, comme buildingSMART, permet d'envisager aux entreprises de passer ou du moins se préparer à passer au niveau de maturité BIM suivant.

#### 2.2.4. REINVENTION DU METIER

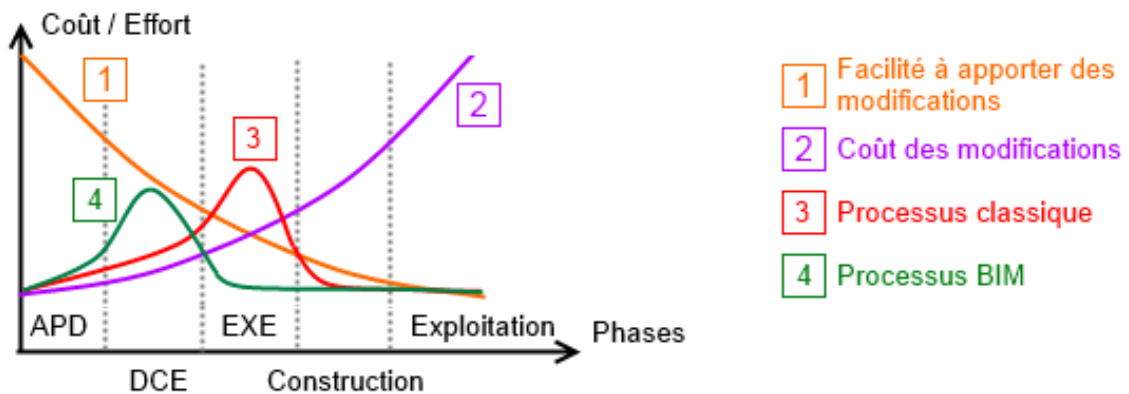
L'avènement du BIM dans le secteur de l'AIC a provoqué un profond changement. Ce secteur est vu comme un secteur fortement fragmenté tout au long des différentes phases du projet. Tout au long de la réalisation d'un projet il existe plusieurs phases, les principales phases sont :

- Faisabilité ;
- Conception ;



- Construction ;
- Opération ;
- Adaptation/Démolition.

Le grand changement du processus de travail des méthodologies de la maquette numérique est la préoccupation de bien préparer l'ouvrage en amont : investir plus en amont en mobilisant plus d'acteurs dans les phases d'études du projet afin d'optimiser les phases suivantes, exécution et exploitation (Figure 2.11).



La première courbe montre que plus le projet avance plus il est difficile d'intervenir, tandis que la courbe 2 fait la même analyse selon le coût des modifications, plus le projet avance plus chères seront les modifications. La Courbe 3 représente le processus traditionnel avec une plus grande mobilisation des acteurs pendant la phase d'exécution. La dernière courbe, courbe 4, représente les processus BIM en investissant plus en amont et moins en phase d'exécution.

Le BIM a révolutionné la façon de travailler des collaborateurs et a contribué à l'insertion de l'ingénierie concourante ou aussi connue comme l'ingénierie simultanée (Figure 2.12). L'ingénierie concourante est une méthode qui ambitionne accroître la compétitivité en diminuant le temps des études, pour cela les acteurs sont engagés simultanément dès le début du projet et ainsi informer tous les acteurs sur les objectifs recherchés et de l'ensemble du cycle de vie du projet [28].

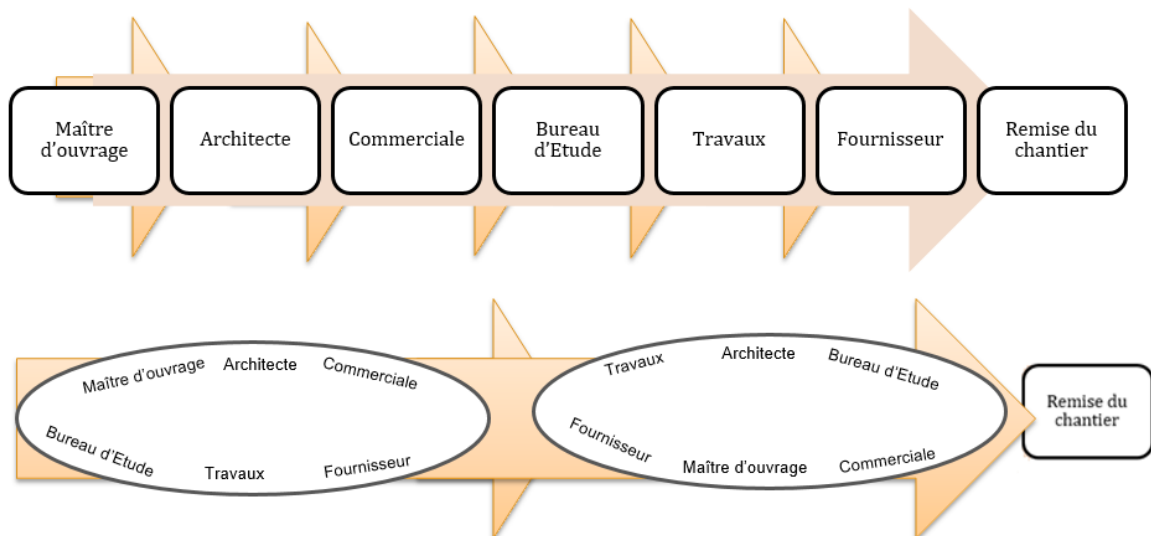


Figure 2.12 – Différence entre le processus traditionnel et collaboratif

L'évolution est visible et la rupture avec l'ingénierie séquentielle est établie, les étapes du projet non plus les liaisons « fini-commence » comme auparavant.

L'évolution du marché tend à évoluer vers le développement des projets Conception-Construction, ou même Conception-Construction-Exploitation, cela permet aux clients de se débarrasser de nombreuses responsabilités et surtout d'assurer une meilleure collaboration entre ces phases, une rupture entre ces phases entraîne souvent des retards dus au manque de collaboration et aux ressaisies. Cela n'est pas le seul bénéfice de ce modèle de contrat, la Conception-Construction permet d'augmenter la collaboration entre les équipes de conception et les équipes d'exécution dans une phase initiale.

Cette évolution du marché a proportionné une nouvelle approche pour la gestion de projet qui vise principalement ces types d'affaires, cette approche est l'*Integrated Project Delivery* (IPD). L'IPD est une nouvelle forme d'aborder et de réaliser les projets avec une vision plus collaborative, c'est une norme pour l'implémentation des processus collaboratifs dès le départ du cycle de vie du projet permettant de faciliter les prises de décisions des collaborateurs et de centraliser l'intelligence collective de tous les intervenants. Cette norme est complémentaire et s'applique parfaitement à la méthode d'ingénierie concourante. Ce nouveau processus a comme principal objectif d'améliorer et faciliter la gestion de projet entre les maîtres d'ouvrages, les architectes et les maîtres d'œuvres, tout ça en adoptant les philosophies Lean, la préoccupation avec l'environnement et les méthodologies BIM [29].

L'implémentation de l'IPD comme un standard des bonnes pratiques de collaboration des entreprises du secteur est importante mais elle a de nombreuses difficultés pour s'affirmer vu qu'actuellement il existe encore peu d'entreprises qui travaillent avec des outils de collaboration, notamment des outils BIM.

#### 2.2.5. DIFFERENCE ENTRE LE 2D ET LE 3D

Depuis plusieurs années les acteurs du BTP utilisent les logiciels de conception assistée par ordinateur en 2D comme outils pour développer leurs tâches. Cependant ces logiciels ne répondent plus à la nécessité du secteur, ces logiciels contiennent uniquement des informations géométriques.

Aujourd'hui ces logiciels perdent du terrain par rapport aux logiciels de visualisation BIM. Il est important de distinguer qu'un logiciel 3D qui ne contient pas d'informations non géométriques ne peut pas être reconnu comme un logiciel BIM.

Les principales différences entre les logiciels de modélisation BIM et les logiciels de CAD 2D sont [30]:

- Avec les logiciels BIM 3D la modélisation est faite par des éléments paramétriques ayant un rôle défini dans le projet, tandis qu'avec les logiciels 2D, la modélisation est faite avec des lignes de dessin ;
- Avec les outils BIM pas besoin de faire la gestion des calques pour contrôler la visibilité des objets, le logiciel la gère automatiquement ;
- Une fois que les calques sont inexistants sur les logiciel BIM, il est possible d'adapter les épaisseurs de ligne selon l'échelle de la vue ;
- Au contraire des logiciels CAO qui travaillent souvent avec des blocs, les logiciels 3D fonctionnent avec une articulation autour des familles ;
- Avec les logiciels CAO il est possible d'extraire quelques valeurs comme par exemple des surfaces et des volumes, mais avec les logiciels BIM 3D la quantité de données extraites est considérablement plus élevée.

### 2.2.6. NIVEAU DE DEVELOPPEMENT DE LA MAQUETTE NUMERIQUE [31]

Chaque phase de projet a un besoin spécifique et au fur et à mesure que le projet évolue les besoins d'une maquette bien structurée est croissant. La maquette numérique est récente et même les acteurs qui pratiquent les méthodologies BIM depuis quelques années ne savent toujours pas expliquer quel est le niveau de développement qu'une maquette doit avoir pour chaque phase car chaque métier a des besoins particuliers.

Pour résoudre ce problème l'AIA, en 2008, a attribué des niveaux de détails tout au long du cycle de vie du projet (Figure 2.13). Le *level of detail* (LOD) est aussi traduit par de nombreux acteurs comme le niveau de développement. Les premières phases du projet ne nécessitent pas un niveau élevé de développement car pendant cette phase, le projet doit être modifiable rapidement et trop d'informations alourdiraient inutilement le fichier. Une autre cause pour l'adoption de cette méthodologie est le fait que les collaborateurs ont des besoins différents par exemple dans le cas d'une conduite l'ingénieur de structure a besoin d'avoir les dimensions exactes tandis que l'architecte a juste besoin d'une approximation de sa localisation et de ses dimensions, et l'acheteur a juste besoin d'une représentation 2D mais avec la marque et les quantités respectives.

Le Royaume-Uni a aussi créé ses propres niveaux de détails qui viennent en quelque sorte compléter les niveaux de détails proposés par l'AIA.

Les niveaux de détail du Royaume-Uni et de l'AIA sont les suivants :

- LOD 1 : Ce niveau de détail est uniquement associé à la classification du Royaume-Uni, c'est un modèle 2D simple qui permet seulement de communiquer les exigences de performance et les contraintes du terrain.
- LOD 2 ou LOD 100 : Le LOD 2 est associé à la classification du Royaume-Uni et le LOD 100 à la classification américaine. Ce niveau est associé à la phase de conception, c'est un modèle conceptuel ou volumétrique qui est utilisé pour modéliser la volumétrie globale des bâtiments et aussi pour faire différents types d'analyses (Volume, coût par unité, orientation du bâtiment, coût des études etc.).
- LOD 3 et LOD 200 : L'attribution des acronymes aux deux types de classification est la même qu'au niveau antérieur. Ce niveau correspond à un modèle pendant la phase avant-projet, développement de la conception. Ce modèle intègre les quantités approximatives, la taille, la forme, l'emplacement et l'orientation.
- LOD 4 et LOD 300 : Ce niveau correspond à la phase de projet, avant la réalisation de la construction. C'est avec ce niveau de détail que la grande partie des études et les documents associés sont réalisés, les éléments insérés dans la maquette ont un niveau élevé de précision ainsi que les dimensions, les quantités et les positions.
- LOD 5 et LOD 400 : Ce niveau est associé à la phase d'exécution, il correspond à un modèle qui possède en plus des quantités précises, des informations concernant le montage et la fabrication.
- LOD 6 et LOD 500 : Ce niveau de détail permet de visualiser les éléments tels que construits, il représente l'avatar de l'élément. C'est avec ce niveau de détail que les clients devraient recevoir la maquette, ce modèle est adapté à la maintenance et l'exploitation de l'ouvrage.
- LOD 7 : Correspond au modèle d'information pour les opérations en cours.

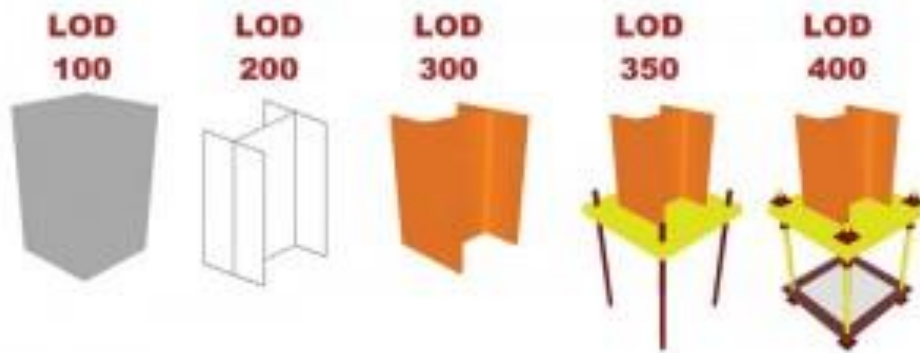


Figure 2.13 – Niveaux de détail [28]

Cette volonté d'associer directement le niveau de détail à une phase de projet a des cas d'exception, principalement pendant la phase d'exécution car les architectes modélisent en utilisant des éléments avec des niveaux de détails correspondant au LOD4 (LOD 300). Cela n'est pas forcément une mauvaise pratique du BIM car il peut arriver, pour des complexités ponctuelles, qu'un niveau de détail supérieur détecte des chevauchements qui ne seraient pas détectés sinon.

#### 2.2.7. FONCTIONNALITE ET BENEFICES DU BIM [32]

L'adoption du BIM est une décision très importante pour la croissance des entreprises, une fois implémenté dans l'entreprise celle-ci pourra difficilement revenir sur sa décision sans une perte considérable. Pour cela il est crucial de connaître les fonctionnalités du BIM et les bénéfices qu'il apporte aux entreprises. Le BIM apporte en effet de nombreux avantages à tous les intervenants des projets dans les différentes phases de construction. Il est évident que la maquette numérique n'apporte pas les mêmes bénéfices à chaque acteur mais il apporte des avantages à tous sans nuire au travail de chacun.

Avec l'adoption de la maquette numérique il est possible d'établir plusieurs simulations du projet avant même de commencer la construction, cette possibilité est intéressante car il est alors possible de faire plus de tests sur les nombreuses variantes de l'implantation d'un bâtiment, pouvant ainsi optimiser la conception des constructions et même éviter de graves erreurs.

Tous les changements souhaités par n'importe quel intervenant sont faits en temps réel, actualisant automatiquement les quantités et coûts liés à ces changements. Cela permet de tester et proposer plus de solutions aux clients, pendant la phase de conception et de construction, et de savoir les incidences budgétaires correspondantes.

Pendant les études de faisabilité il est possible de savoir si le projet respectera les critères financiers avec l'extraction des quantités du modèle virtuel BIM. Dans une phase initiale il permet aussi d'avoir une idée plus précise sur le respect des délais de construction.

Avec les préoccupations grandissantes liées à l'environnement la vérification des critères fonctionnels et environnementaux des projets utilisant la maquette numérique gagnent de plus en plus de poids ainsi qu'au niveau économique car il est estimé que 80% du coût total d'un bâtiment correspond à son utilisation.

L'utilisation de la maquette numérique permet d'optimiser les recherches et l'extraction des documents spécifiques. Les outils BIM permettent aussi de gérer et réutiliser des informations élaborées auparavant qu'elles soient internes ou externes.

La collaboration est favorisée avec l'arrivée de la maquette numérique permettant de meilleurs échanges entre les intervenants. L'introduction de données répétitives est évitée et les conditions idéales sont créées pour que tous les intervenants aient la même compréhension des points cruciaux pour la réalisation du projet.

La modélisation en 3D permet d'obtenir automatiquement les changements des différentes vues du projet avec plus de précisions. De plus avec l'utilisation d'un logiciel BIM il est possible de choisir la vue qui s'adapte le mieux à la compréhension de l'acteur ( plan d'étage, plan du plafond, en coupe, en élévation, ou même en 3D). Toutes les vues sont actualisées simultanément lors d'une modification.

Le modèle 3D permet notamment d'obtenir des plans 2D instantanément des différentes vues, avec l'échelle correspondante au plan. La maquette numérique permet aussi aux équipes responsables pour la construction des bâtiments un meilleur accompagnement du chantier.

Ceci liste quelques bénéfices du BIM, les avantages seront par ailleurs développés tout au long de ce rapport.

#### 2.2.8. INCONVENIENTS DU BIM

La maquette numérique est en pleine croissance, mais comme toutes innovations, la méthodologie BIM n'a pas encore convaincu tous les acteurs du secteur car elle est en pleine évolution. Les principaux éditeurs de logiciels travaillent quotidiennement pour favoriser l'adoption du BIM par tous les acteurs du secteur. Les coûts liés à l'adoption de la maquette numérique est aujourd'hui encore vu comme le principal inconvénient de cette technologie surtout pour les petites et moyennes entreprises. L'investissement pour pouvoir implémenter les méthodologies BIM peut être divisé en trois groupes selon le temps d'adoption, l'investissement initial, le coût de personnalisation du BIM aux projets développé par l'entreprise et les dépenses stratégiques.

- L'investissement initial est considéré comme l'un des grands obstacles pour que les PME adoptent le BIM. Le coût de démarrage est lié au coût d'exploitation des logiciels, licences ou abonnement, à la formation initiale et continue des utilisateurs et à tout ce qui supporte l'utilisation de la plateforme technologique (réseau, matériel, capacité de cloud, modification d'espace de travail permettant de favoriser le travail collaboratif).
- Les coûts pour personnaliser les projets utilisant le BIM sont essentiels pour rentabiliser au mieux l'utilisation du BIM une fois que toutes les entreprises ont chacune leurs façon de développer les projets. Cet investissement est souvent méprisé par les maîtres d'ouvrages qui tentent de sauter cette étape stratégique d'adoption du BIM mais postérieurement ils n'obtiendront alors pas autant de bénéfices que ceux qui ont investi. Ce coût correspond à l'investissement nécessaire pour adapter le fonctionnement de l'entreprise aux nouveaux enjeux, personnalisation des documents, adaptation des nouveaux logiciels aux besoins de l'entreprise afin d'automatiser le plus de processus possibles, tout cela entraîne des coûts de main-d'œuvre, du temps et une possible nécessité de recourir à un gestionnaire BIM.
- Les coûts stratégiques correspondent aux dépenses à long terme, visant principalement l'accompagnement du développement des logiciels BIM. [33]

Le coût n'est pas le seul inconvénient, la maquette numérique est une méthodologie qui demande un énorme changement dans le fonctionnement des entreprises, principalement des entreprises de grande taille, et comme tout changement profond il faut être conscient des difficultés qui peuvent être rencontrées par les responsables tout au long de l'implémentation de cette technologie au sein de l'entreprise. La réussite de cette tâche est fortement liée à la stratégie adoptée. Plusieurs études ont été

faites dans ce cadre, le groupe américain « Gartner Group », entreprise de conseil et de recherche des technologies avancées, a créé le cycle de Gartner. Le cycle de Gartner aussi connu comme le *Hype Cycle*, est une représentation graphique de la corrélation entre la maturité et l'adoption des nouvelles technologies, permettant aussi d'observer l'évolution la plus probable de cette technologie. L'ingénieur António Ruivo Meireles a repris cette représentation graphique et l'a adapté au BIM (Figure 2.14), il additionne une courbe qui représente le trajet idéal de l'adoption des nouvelles technologies et comment les présenter aux collaborateurs [34].



Figure 2.14 – Courbe adapté du Hype Cycle [34]

La courbe en bleue est la courbe qui représente le Hype Cycle, cette courbe est constituée par 5 phases, la première phase est appelée « *Technology Trigger* » et correspond à l'arrivée d'une nouvelle technologie sur le marché, cette phase représente l'adoption initiale de la technologie. La phase suivante représente l'emballement de la société qui surestime la technologie et aboutit à des attentes exagérées, cette phase est appelée de *Peak of Inflated Expectations*. Le déroulement de cette phase entraîne le *Trough of Disillusionment*, qui est la phase suivante et correspond au moment dont l'adoption de la technologie est en pleine chute, car la société devient consciente et est déçue du fait que la technologie ne répondent pas complètement aux attentes. Même si la technologie n'est plus aussi bien vue, certaines entreprises vont continuer à l'étudier et comprendre ses avantages. Cette phase est appelée *Slope of Enlightenment*. La dernière phase du Hype Cycle et le *Plateau of Productivity*, cette phase correspond au moment où la technologie atteint la plénitude de ses bénéfices, les entreprises connaissent l'intégralité des fonctionnalités de la technologie et l'adoptent. L'adoption de la technologie évolue avec le temps car elle devient de plus en plus stable et elle-même s'améliore. La courbe en rouge représente l'évolution idéale de l'adoption du BIM.

António Ruivo Meireles tient compte de plusieurs difficultés que les responsables de l'implémentation du BIM dans les entreprises peuvent rencontrer. Les principales difficultés sont liées à la réceptivité des collaborateurs qui peut être causée par plusieurs raisons :

- Peur de se faire dépasser par les collègues qui ont plus de facilité à s'adapter aux nouvelles technologies ;
- Crainte de la surcharge d'information ;
- Faute de motivation et de temps ;
- Difficulté à l'utilisation des logiciels BIM ;
- Méfiance sur l'utilité du BIM ;

La stratégie de développement du BIM doit viser principalement les collaborateurs de l'entreprise car ce sont eux les principaux utilisateurs des logiciels BIM. Généralement la stratégie de l'adoption du BIM dans les entreprises de plus grandes taille partent des initiatives des équipes de R&D qui surestiment les fonctionnalités des logiciels BIM et occultent leurs limitations et les difficultés à l'usage. Cette surestimation est dangereuse car avec le temps les collaborateurs peuvent entrer dans la phase *Trough of Disillusionment*, et remettre tout en question.

Le manque de standardisation est aussi un des inconvénients pour l'utilisation du BIM et ce manque de standardisation peut être analysé par différents points de vue [35]:

- Standardisation du système de modélisation, dans ce cas la modélisation 3D ;
- Standardisation des processus et des méthodes de travail ;
- Standardisation des logiciels BIM pour éviter les problèmes liés à l'interopérabilité.

## 2.3. PRODUCT LIFECYCLE MANAGEMENT

### 2.3.1. ENCADREMENT DU PLM [36]

Le développement de l'informatique a permis l'apparition des logiciels de CAO, qui permettaient de modéliser des formes géométriques. Avec cela, est apparue la nécessité de faire la gestion de données techniques et c'est à ce moment que les premiers logiciels SGDT, Système de Gestion de Données Techniques, sont apparus et à l'époque ces logiciels permettaient juste de promouvoir la collaboration entre le bureau d'études.

Avec la grande évolution de l'informatique, l'apparition de l'internet et de technologies plus développées les logiciels de SGDT ont eux-mêmes évolués dans le cadre de la collaboration et de l'augmentation de la productivité. Le PLM s'appuie sur les logiciels de SGDT qui permettaient dans les années 90 d'échanger des informations dans tout le Monde et entre tous les intervenants du projet, ceci fut un grand pas car cela a permis de aux SGDT de s'intégrée avec d'autre logiciels comme par exemple les CRM, *Customer Relationships Management* et les ERP, *Entreprise Resource Planning*. Avec le temps beaucoup de normes, de réglementation ont était adoptées, des projets plus complexes, les préoccupations avec le développement durable et beaucoup d'autres aspects ont fait apparaître un besoin d'une gestion d'information pendant la vie du produit. C'est ainsi que le concept PLM est apparu en évoluant petit à petit et centralisant les connaissances autour des produits, introduisant la variante de la gestion du cycle de vie des produits, soit la gestion des informations techniques permettant le partage de ces informations avec les entreprises étendues. L'intégration des fournisseurs dans une phase en amont est une des principale causes de l'évolution des SGDT, vu que les fonctionnalités des logiciels PDM, *Product Data Management*, sont centrées simplement sur les données du produit ne faisant pas sa gestion au long de son cycle de vie.

Le Product Lifecycle Management est un concept qui ne cesse d'évoluer et a autant de définition que d'utilisateurs, il n'existe toujours pas une définition standard, le PLM peut être décrit comme une sorte de stratégie d'entreprise innovatrice qui génère une structure de données cohérente en visant la collaboration, la gestion, la diffusion et l'exploitation des informations relatives aux produits,

permettant ainsi à tous les intervenants de travailler en collaboration dès la conception du produit jusqu'à sa substitution. Selon le cabinet CIMdata le *“PLM constitue l'épine dorsale de l'information produit pour une entreprise et son entreprise étendue”*. Le PLM devient ainsi un socle du Système d'Information de l'entreprise étendue.

Pour que le PLM atteigne son potentiel maximum il doit être accompagné des progiciels de Système d'Information ERP, Enterprise Resource Planning et les méthodes SCM, Supply Chain Management ou en français est traduit par GCL, Gestion de la Chaîne Logistique.

### 2.3.2. LE PLM DANS L'INDUSTRIE AUTOMOBILE

Le marché du PLM ne cesse d'évoluer dans les secteurs manufacturiers (automobile, aéronautique, défense, alimentaire, textile...). Les entreprises du secteur automobile ont dû faire face à plusieurs challenges durant ces dernières années comme par exemple la globalisation, l'évolution des normes, les exigences des clients, les nouvelles énergies. Tout cela a provoqué une augmentation des documents à produire et une complexification des tâches. Les principales phases pour gérer correctement le cycle de vie des produits sont décrites ci-dessous.



Figure 2.15 – Principales phases d'un projet insérant les méthodologies PLM [37]

La planification est la première phase pour définir le projet, les ressources nécessaires et le cycle de vie du produit. Ensuite il y a la phase de développement où les informations serviront à réaliser la nomenclature du produit et la construction virtuelle du produit. La phase suivante est la phase de fabrication à partir de la nomenclature et de la gamme de fabrication. La dernière phase vise à optimiser la valeur ajoutée du produit en intégrant des technologies et des processus commerciaux : c'est la phase de support où seront gérés la livraison, l'entretien et la fin de vie du produit [37].

Les éditeurs des outils PLM offrent des solutions adaptées à toutes les entreprises, de la plus petite, aux plus grandes avec plus ou moins de fonctionnalités. Les logiciels PLM proposent les suivantes fonctionnalités suivantes [38] :

- Plateforme collaborative : un serveur permet de stocker toutes les informations et données du projet ;
- Gestion des droits d'accès : chaque utilisateur a accès uniquement à l'information qui le concerne ;
- Les types de vues : afin de faciliter sa compréhension l'utilisateur choisit le type de vue parmi trois catégories : la vue fonctionnelle, la vue structurelle et la vue de fabrication ;



- Visualisation des documents : elle permet de visualiser les documents sans à avoir à les télécharger ;
- Configuration des systèmes : permettre à l'entreprise de construire son PLM par rapport à ses besoins ;
- Gestions des modifications : elle permet aux utilisateurs de réserver un document sur lequel ils travaillent pour éviter des modifications simultanées par d'autres utilisateurs en leur permettant uniquement de le visualiser. Une fois que la modification est faite les utilisateurs reçoivent une notification pour informer de la disponibilité du document ;
- Gestion des processus de validation des documents : elle permet d'associer à tous les éléments un état d'avancement et un historique et d'avoir ainsi une idée générique de l'avancement du projet;
- Les workflows : ils permettent de modéliser les flux de travail. Cette modélisation des liaisons entre les tâches est complétée par l'affectation des acteurs responsables de leur réalisation en informant des documents à réaliser ;
- Les notifications : elles permettent aux utilisateurs de créer ou de s'abonner à une série de notifications afin d'être automatiquement informé de l'évolution des projets, des modifications ;
- Moteur de recherche avancé: il permet de rechercher les documents de plusieurs manières à pour faciliter la recherche d'information.

Le PLM n'est pas seulement un logiciel informatique, à l'identique du BIM, le PLM est une méthodologie qui prend en compte à la fois l'outil informatique, les méthodes de travail et l'organisation des documents.

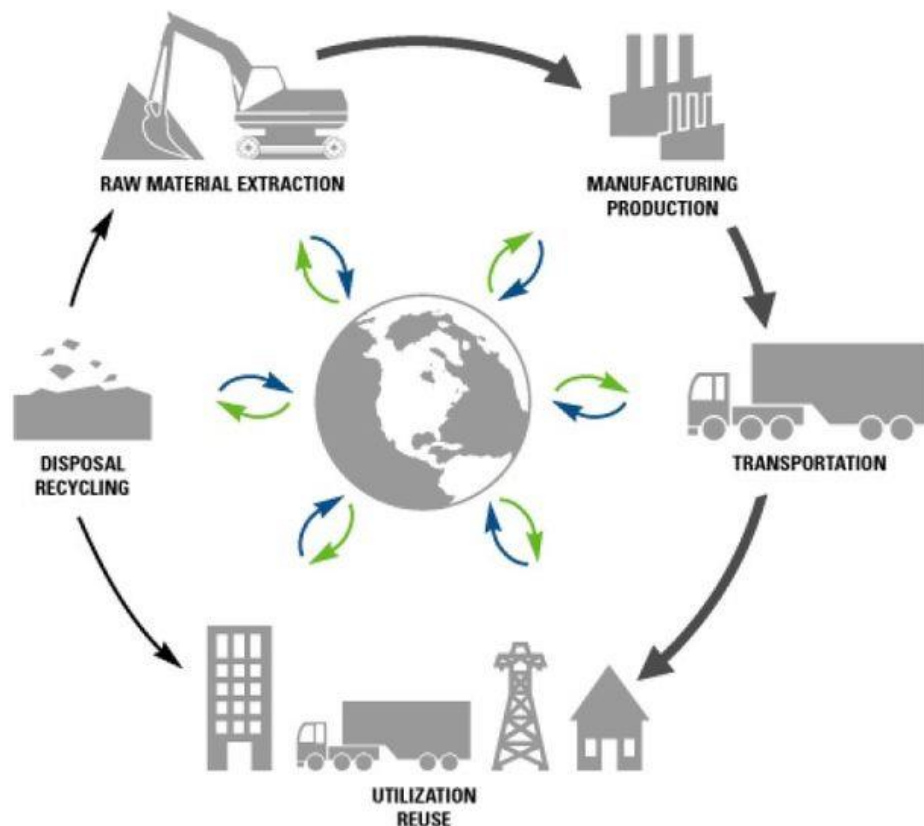


Figure 2.16 – Standardisation des échanges d'informations [39]

Toutes ces fonctionnalités permettent aux entreprises du secteur automobile de bénéficier des avantages de ces outils PLM. Pouvoir lancer des produits plus rapidement que les concurrents est un des principaux avantages observés, anticiper la commercialisation d'un produit peut permettre d'augmenter la rentabilité de toute l'opération. Les outils PLM aident à une prise de décision précise et rapide, ils permettent d'augmenter la rentabilité, de réduire les coûts et de capitaliser les expériences et les meilleures pratiques. Ces trois bénéfices sont tous liés à la collaboration et à la standardisation.

Les entreprises optent de plus en plus pour des plateformes qui permettent une collaboration mondiale en affectant les bonnes informations au bon moment et au bon endroit. Elles permettent d'augmenter la production et donc de réduire les coûts de création des produits. Les méthodologies collaboratives permettent de résoudre les problèmes dus à l'éloignement géographique de chaque équipe interne d'une entreprise mondiale. La standardisation des produits et des échanges de données permettent aussi d'augmenter la productivité (Figure 2.16). Sans elle, la démarche PLM n'atteindra pas la totalité de ses potentialités.

Le PLM, ainsi que les autres technologies, s'imposent sur le marché principalement si ces processus permettent aux entreprises d'avoir un retour sur investissement positif. Les industries manufacturières ont des RSI très élevés avec l'adoption de cette technologie. La figure ci-dessous permet d'observer les bénéfices de la gestion du cycle de vie du produit.

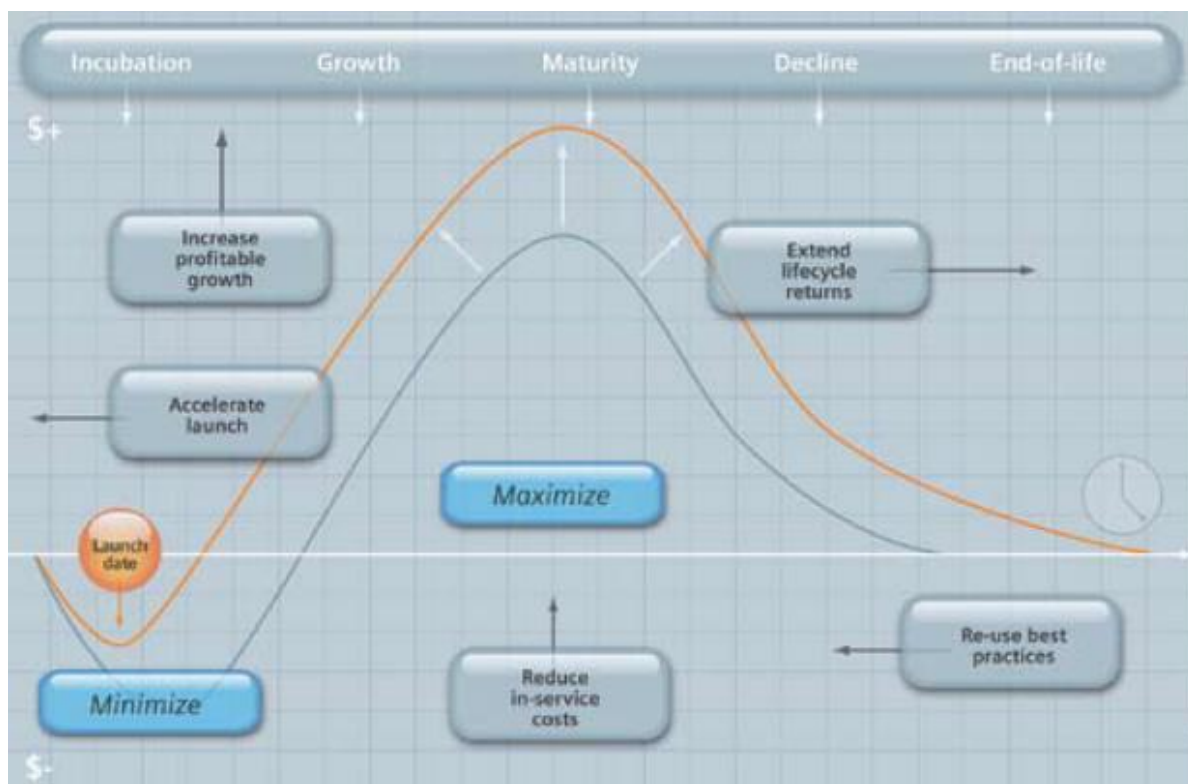


Figure 2.17 – Les bénéfices du PLM au long du cycle de vie d'un produit [37]

Pendant la phase d'incubation, période de vie du produit qui n'est pas encore sur le marché, il y a un surcoût associé. Ce surcoût, comme pour le BIM, est surtout dû à une plus grande mobilisation et aux investissements en amont pour gérer le cycle de vie du produit dès sa fabrication. Cependant quand il est possible d'accélérer les processus de conception les surcoûts sont alors minimisés pendant cette phase.

Pendant la phase de croissance du produit, de sa sortie sur le marché jusqu'à son utilisation, il est possible d'observer un RSI qui augmente considérablement jusqu'à ce qu'il atteigne son maximum. Cette croissance s'explique car grâce au PLM les entreprises arrivent à construire avec moins de défauts ce qui permet de réduire les coûts de réparation sous garantie. De plus grâce à la possibilité d'avoir une vision sur l'ensemble du cycle de vie du produit il est plus facile d'intervenir et d'anticiper des changements.

Une fois que le produit atteint son niveau de maturité les bénéfices de l'utilisation du PLM diminuent linéairement au fil du temps jusqu'à atteindre la fin du cycle de vie du produit. Les principaux avantages pendant la phase de la fin du cycle de vie du produit sont le retour d'expérience, l'accumulation des bonnes pratiques et se poser sur ce qui aurait pu être amélioré. Ici aussi on retrouve un des principaux piliers des philosophies Lean, l'amélioration continue.

### 2.3.3. LE PLM DANS L'INDUSTRIE DE LA CONSTRUCTION

Le secteur du BTP fait actuellement face à des enjeux similaires à l'industrie automobile, la globalisation des marchés a élevé le niveau des exigences concurrentielles et notamment le secteur du BTP qui comporte un coût prépondérant de main d'œuvre. Pour faire face à ces problématiques, l'industrie de la construction adopte des processus d'automatisation des tâches à faibles valeurs ajoutées, qui ne nécessitent pas beaucoup de savoir-faire. Les entreprises du secteur du BTP prennent modèle une nouvelle fois sur les industries manufacturières, comme pour les philosophies *Lean* et la modélisation en 3D, et commencent à utiliser les outils PLM.

L'avènement du BIM a provoqué une forte augmentation du volume d'information à gérer, augmentant proportionnellement la complexité de cette tâche. Les défis actuels des entreprises utilisant le BIM n'est plus seulement de gérer la collaboration entre les intervenants mais aussi de gérer toute l'information, comme les exigences des clients, les réglementations, les contrats, les spécifications et les plannings. Pour répondre à ces défis les outils PLM doivent donner une vision globale du projet pendant tout le cycle de vie du projet.

Le concept PLM de ce secteur a donc évolué du *Product Lifecycle Management* vers le *Project Lifecycle Management*. Cela représente une évolution du champ d'application de ces logiciels, dorénavant ils passent d'enjeux visant essentiellement la productivité aux enjeux stratégiques des entreprises.

Au cours d'un projet le nombre d'intervenants évolue très rapidement ce qui fait que le risque de voir plusieurs versions d'un même projet être créées augmente aussi. Pour l'éviter il est nécessaire d'avoir un logiciel qui agit sur l'ensemble du cycle de vie du projet connectant tous les acteurs sur un référentiel unique (Figure 2.18)

Ce référentiel unique représente une grande évolution dans le secteur, il permet non seulement de centraliser toutes les données géométriques mais aussi de rattacher toutes les autres informations non-géométriques, comme par exemple les fiches produits. De plus il permet de travailler en temps réel et appliquer ce que les développeurs du BIM appellent le BIM 4D (Planning automatisé, lie les éléments de la maquette à un temps.), 5D (coûts automatisés, associe un coût à chaque élément de la maquette), 6D (analyse énergétique) et 7D (maintenance automatisée, tous les éléments de la maquette incorporent des informations sur sa durée). Cette dénomination n'est pas normalisée mais elle est utilisée par la plupart des développeurs BIM.



Figure 2.18 – Gestion du cycle de vie sur un référentiel unique [28]

Même si le secteur du BTP fait face à des problématiques similaires aux problématiques de l'industrie automobile, les solutions ne sont pas les mêmes car l'activité de ces deux secteurs sont différentes. Le logiciel utilisé doit avoir des fonctionnalités adaptées au secteur. Bien que Les solutions PLM du secteur soient encore peu matures, les éditeurs estiment que près de 80% des problématiques du secteur de la construction sont identiques à des problématiques de l'industrie manufacturière [40].

Le recours de plus en plus courant à la sous-traitance pendant la phase de conception, comme par exemple les métreurs, oblige les entreprises à optimiser les échanges d'informations. Il est nécessaire d'avoir une traçabilité de tous ces échanges afin d'accélérer les cycles et de gérer les risques.

Un des bénéfices intéressant de la PLM est d'avoir une traçabilité du projet. Ce point est fondamental car de plus en plus d'intervenants participent au projet avec l'arrivée du BIM. Il est nécessaire d'avoir une traçabilité de tous ces échanges afin d'accélérer les cycles et de gérer les risques. Cela permet aussi d'éviter de travailler sur un fichier obsolète. Chaque élément possède un état d'avancement, généralement il existe quatre états d'avancement:

- Obsolète ;
- En cours (in work) ;
- En attente de validation ;
- Validé.

De plus cela permet à tous les intervenants d'avoir un historique du bâtiment : chaque élément inséré, modifié ou éliminé est associé à un TAG 6W (*What, Where, When, Who, Why, hoW*), qui permet à chaque intervenant de savoir par qui, quand, où, pourquoi, comment et le contenu de chaque élément qui a été inséré, modifié ou éliminé. Cela représente un grand bénéfice pour tous les intervenants des clients aux entreprises de maintenance en passant par les assurances et essentiellement pour les responsables d'affaires qui ont comme mission principale d'assurer la bonne gestion de projet [28].

La standardisation est aussi un point essentiel pour l'automatisation des tâches. L'intégration des processus de *workflow* dans les outils PLM semble bien s'adapter au secteur car comme il a pu être vu les types de projets que l'entreprise réalise sont similaires. L'automatisation des flux des tâches s'avère un bénéfice important pour l'entreprise car en plus de permettre de standardiser les flux de l'entreprise il permet aussi d'automatiser les échanges d'information. Pour cela il est nécessaire d'identifier et décomposer les différentes tâches de chaque projet en associant les acteurs qui la réalise, les documents nécessaires pour sa réalisation ainsi que les documents produits à chaque tâche. Cela exige de savoir comment un projet est structuré.

La structuration d'un projet consiste à établir un référentiel sous forme de document. Elle s'établit par l'application d'étapes successives qui sont représentées sous forme d'arborescence. Un projet est souvent constitué par 6 différents types de structururations, connues par leurs abréviations de langue anglaise, OBS, RBS, SBS, ABS, GBS et PBS [41].

L'OBS, *Organisation Breakdown Structure*, permet de hiérarchiser l'équipe projet, d'organiser et de nommer les différents acteurs du développement du projet. Cette organisation s'appuie sur la question « qui est responsable de ? ». Cette organisation est complétée par le RBS, *Resource Breakdown Structure*, qui comme son nom l'indique associe les ressources nécessaires pour la réalisation de chaque tâche.

Le *System Breakdown Structure* (SBS), aussi connu comme le FBS, *Functions Breakdown Structure*, permet de décomposer l'ouvrage par système fonctionnel. Le SBS est ainsi une liste des fonctions identifiées pour réaliser le système.

L'ABS, *Activity Breakdown Structure*, permet de hiérarchiser toutes les activités nécessaires pour la réalisation d'un projet, l'ensemble de ces activités forment les processus. L'arborescence de cette structuration est construite en répondant à la question « comment ? ».

La GBS, *Geographical Breakdown Structure*, responsable pour le découpage de l'ouvrage par zone géographique, son arborescence se construit en se questionnant sur la localisation de chaque élément jusqu'à ne plus avoir de sous-niveaux (Figure 2.19). C'est très important pour l'évolution des processus BIM car lors des échanges entre logiciels, par exemple une visionneuse BIM, l'utilisateur peut identifier la localisation de chaque élément.

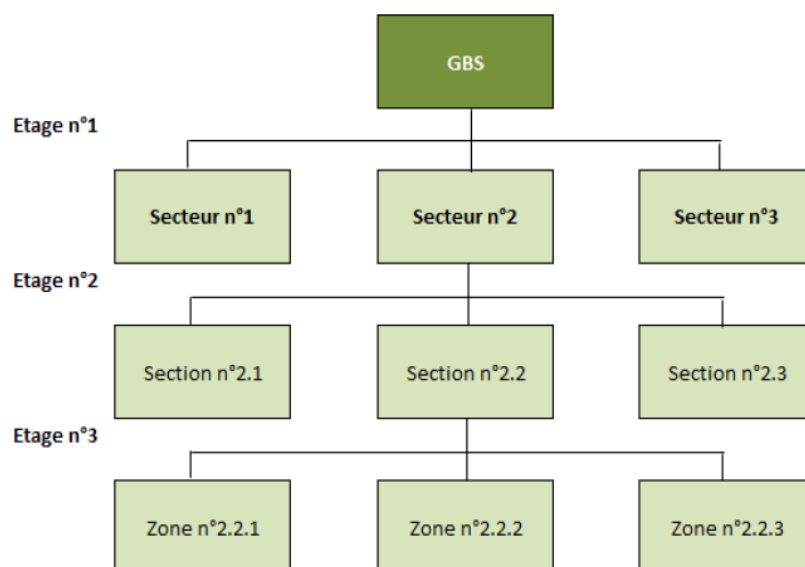


Figure 2.19 – Arborescences de la GBS [41]

La PBS, *Product Breakdown Structure*, représente une structure de décomposition de l'ouvrage en plusieurs éléments, qui seront à leurs tours décomposés en sous sous-éléments permettant ainsi d'organiser tous les éléments du projet selon une logique structurée. Un des exemples le plus connu de l'application de ce type de structuration est l'Unifomat II, utilisé aussi par le logiciel Revit, donc l'importance de cette structuration du projet pour assurer la liaison BIM avec le PLM est fondamentale.

L'ensemble de ces structures sont toutes liées directement ou indirectement. Le WBS, *Work Breakdown Structure*, découpe le projet jusqu'aux tâches à réaliser. Cette organisation est une synthèse de toutes les structures décrites précédemment à l'exception de la RBS, la figure ci-dessous illustre cela.

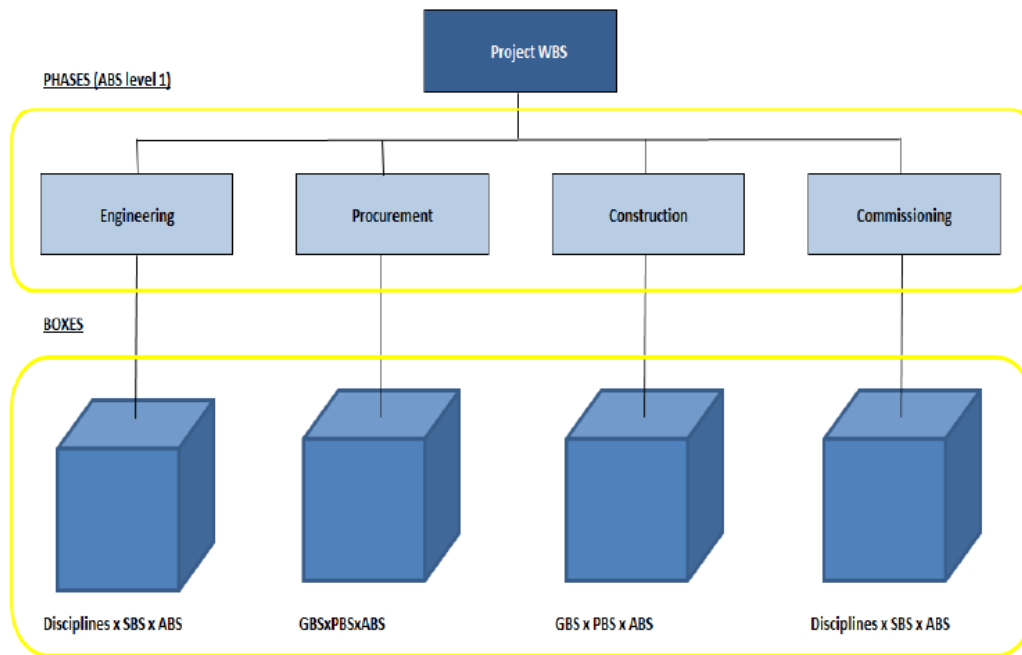


Figure 2.20 – Projet WBS [41]

La décomposition du projet en tâches est importante pour pouvoir automatiser et gérer les processus. Dans ce secteur chaque projet est unique et la possibilité d'avoir besoin de modifier les flux de travail est réelle, donc il est important que le logiciel qui gère et automatise les flux de travail soit facilement adaptable aux besoins des utilisateurs. C'est une des causes pour laquelle les logiciels de GED, Gestion Electronique de Documents, n'arrivent plus à répondre aux besoins actuels des entreprises. La variété et la difficulté de plus en plus élevée des projets n'est pas la seule cause du fait que les logiciels GED soient remplacés par les outils PLM, plusieurs facteurs comme par exemple le manque de communication avec d'autres logiciels ne permettent plus le niveau de collaboration désiré.

L'arrivée de la PLM dans le secteur du BTP a tout pour s'affirmer comme elle l'a fait dans d'autres secteurs. Il faut tenir en compte que le secteur du BTP est vaste et que les entreprises peuvent avoir des besoins différents pour choisir un logiciel PLM qui s'adapte le plus à l'entreprise. Il est donc important de connaître les besoins des équipes projet au long de chaque phase. En phase d'études il est important :

- Gérer les échanges d'informations tout au long de toute cette phase ;
- Assurer l'actualisation automatique des changements faits sur d'autres logiciels ;
- Gérer l'état d'avancement des documents ;



- Maximiser l'automatisation des flux de travail optimisant la standardisation de ces derniers ;
- Maximiser les affectations des ressources aux tâches ;
- Capitaliser l'information et l'expérience acquise tout au long de chaque projet ;

En phase de construction les principaux besoins sont essentiellement de pallier aux manques de collaboration, à la dispersion de l'information, et au trop peu de standardisation des tâches et d'automatisation. En phase de maintenance il y a aussi des besoins essentiels auxquels il faut répondre : disposer d'une vision sur l'ensemble de l'ouvrage est alors essentiel pour vérifier si la construction a été réalisée selon le CCTP. Pendant cette phase il est important que le logiciel permette d'anticiper toutes les modifications que les constructions peuvent avoir pendant son cycle de vie et aussi de pouvoir augmenter le taux d'utilisation de ces constructions.

Pour répondre à ces besoins l'entreprise doit définir une stratégie afin de choisir la meilleure solution. Il n'est pas nécessaire d'être informaticien pour définir qu'elles sont les fonctionnalités que les logiciels doivent avoir pour répondre aux besoins de l'entreprise, une méthode intéressante pour les déterminer est le cycle en V (Figure 2.21).

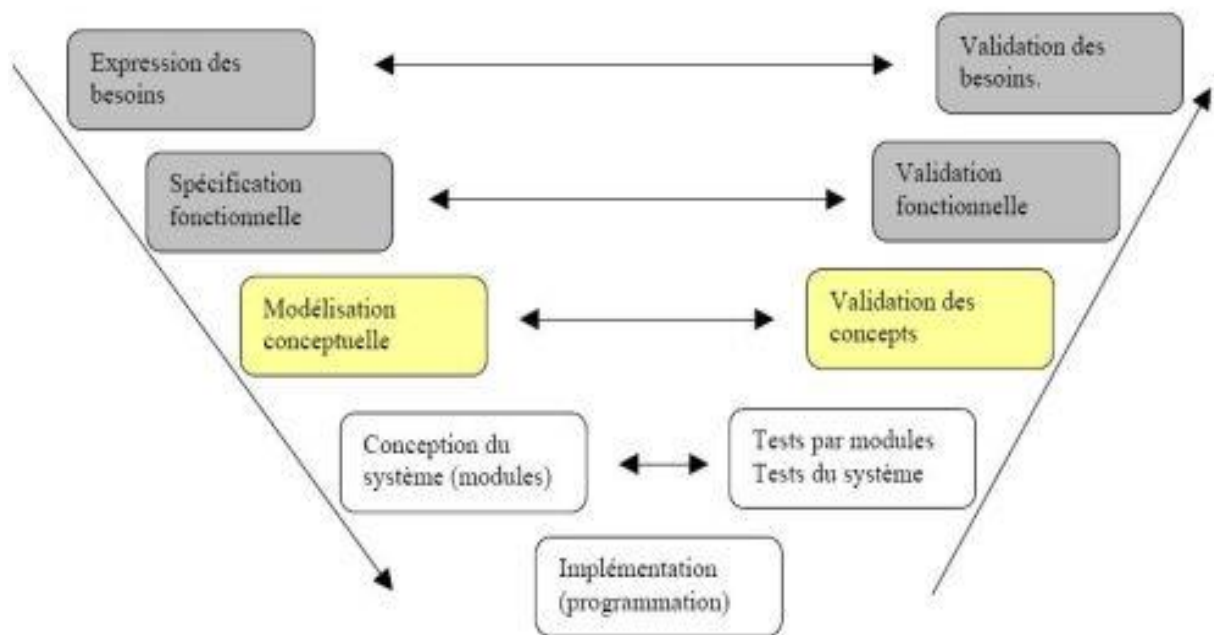


Figure 2.21 – Cycle en V [42]

Ce cycle est composé en trois parties, qui correspondent à trois phases différentes. Les flèches descendantes correspondent à la phase de conception, les besoins y sont décrits. La deuxième phase, la phase de réalisation correspond au codage des besoins, tandis que la troisième et dernière phase correspond à la phase de validation. Les flèches horizontales permettent de lier les informations à valider. Ce cycle a plusieurs versions, le cycle fourni dans la Figure 2.21 est constitué de 9 phases.

La première étape correspond à l'«Expression des besoins», cette étape correspond au moment où l'utilisateur décrit son besoin et ce qu'il souhaite. L'étape suivante est la description fonctionnelle de la part de l'utilisateur, il exprime comment le produit doit fonctionner afin de répondre aux demandes. Ces deux étapes sont les étapes entièrement sous la responsabilité des professionnels métier, les informaticiens ne font qu'écouter les clients.

La modélisation conceptuelle, l'étape suivante, est réalisée avec la collaboration des deux équipes intervenantes, les professionnels métier et les informaticiens. Au long de cette étape il est fait une traduction des spécifications fonctionnelles en termes techniques, correspondant à la définition de l'architecture du logiciel.

La phase de réalisation débute après la définition de la modélisation conceptuelle. Cette phase est réalisée par les informaticiens, elle correspond au développement des codes de programmation. Une fois que les codes sont créés ils sont testés afin d'assurer qu'ils respectent le cahier des charges.

Le premier grand test du travail des informaticiens apparaît lors des phases de validation, de la validation des concepts jusqu'à la validation des besoins en passant par la validation fonctionnelle. Au long de ces phases de validation il est fait la vérification du respect des demandes établies par les professionnels métiers.

Cette stratégie permet de passer d'une ingénierie orientée documents à une ingénierie orientée données, modèles et simulation. Le cycle en V peut rendre une tâche très longue est rendre la démarche préjudiciable.



# 3

## Description de l'entreprise

### 3.1 HABITAT SOCIAL

#### 3.1.1 HISTOIRE DU LOGEMENT SOCIAL [43]

Le logement social est né pendant les années de la révolution industrielle et l'urbanisation massive qui a provoqué une profonde crise du logement. En France comme en Grande Bretagne, la révolution industrielle a bouleversé le fonctionnement du pays dans le domaine économique, politique et social. Les industries s'implantent dans les villes qui connaissent alors une grande croissance avec une grande part de nouveaux habitants à la recherche d'emploi. La population française urbaine évolue de 12 millions à 18 millions entre 1875 et 1914, tandis que la population totale reste quasi stable. Cela a entraîné le surpeuplement de ces villes et tous les inconvénients liés à ce phénomène. Les villes à l'époque ne sont pas prêtes pour cette immigration massive et les habitants vivent dans des conditions extrêmes. Plus de la moitié des ouvriers vivent à deux ou plus par pièce et d'autres dorment même devant les usines. Ces conditions de vie représentent énormément de risque de propagation d'épidémies qui ont tué énormément de personnes auparavant, comme la tuberculose. Les patrons des entreprises les plus puissantes de l'époque ont senti la nécessité de protéger la classe ouvrière et surtout leurs familles de ces épidémies et ont ainsi construit les premières cités ouvrières pour leur personnel. La Figure 3.1 ci-dessous montre la Cité ouvrière de Mulhouse.



Figure 3.1 – Cité ouvrière à Mulhouse [44]

Jules Siegfried est considéré comme le fondateur du logement social. Il fonda la Société des « Habitation à Bon Marché » et en 1892, il déposa un projet de loi qui prévoyait des prêts d'argent aux

organismes d'HBM par l'institution publique « Caisse des Dépôts et Consignation » et l'établissement privé d'utilité publique « Caisses D'épargne ». Ce fut la première initiative suite à de longs tâtonnements qui servit de socle aux nombreuses lois développées postérieurement dans ce cadre. Initialement cette initiative n'eut pas l'impact désiré, 3.000 logements seulement furent construits entre 1895 et 1905. Les conditions déplorables des logements ne cessèrent d'augmenter et conduisirent le gouvernement à remodeler la loi et créer la « loi du 23 décembre 1912 », qui créa les offices publics communaux et départementaux d'HBM. 40.000 logements furent alors construits. Après la première guerre mondiale les grandes villes sont partiellement détruites et avec le retour des soldats la crise du logement s'accroît, principalement à Paris où une personne sur quatre vit dans une demi-pièce. Les villes s'engagent à reconstruire les logements, mais survient au début des années 30 une crise économique, qui a causé une baisse des investissements et l'arrêt de la construction de beaucoup de logements sociaux.

La seconde guerre mondiale laisse la France en situation catastrophique, les chiffres sont effrayants, 45% des logements sont surpeuplés, 10% des habitants résident dans des conditions très difficiles. Le gouvernement souhaite accélérer la reconstruction des logements. La forte croissance démographique en France accentue la crise du logement, le plan de reconstruction est insuffisant. Le Ministre de la reconstruction de l'époque définit des initiatives pour la reprise des investisseurs privés dans le bâtiment. Les HBM deviennent HLM, Habitations à Loyer Modéré, et pour favoriser le marché le gouvernement crée un Fond National qui permet principalement l'accès aux prêts à long terme du Crédit Foncier. Durant ces années la construction des logements sociaux s'est accompagnée d'un accroissement du confort de ces bâtiments.

En 1954, l'appel d'Abbé Pierre va agiter la question du logement social et le gouvernement cherche à tout prix une solution de construire plus vite et moins cher. La priorité était la quantité et non la qualité. Peu de temps après l'industrialisation est apparue dans le bâtiment, la préfabrication a permis de réduire les coûts de construction et les délais [45]. Les années suivantes sont connues comme les « 10 glorieuses de la production de masse », provoqué par l'augmentation du pouvoir d'achat et du recours au crédit, les logements en 30 ans sont passés de 12 millions à 21 millions.

Les marques laissées par cette époque sont aujourd'hui encore visibles avec les HLM en tours parallèles les unes aux autres qui permettaient à l'époque une construction en masse, un exemple qui traduit ce type de constructions est le quartier Masséna au cœur de Paris (Figure 3.2).



Figure 3.2 – Quartier Masséna

En 1991, la loi d'orientation pour la Ville vient compléter le droit fondamental à l'habitat social, faisant obligation aux communes situées dans les agglomérations de plus de 200.000 habitants de disposer d'au moins 20% de logements sociaux, la loi a changé depuis 2013 passant de 20% à 25% dans les communes de plus de 3.500 habitants pour toute la France et 1.500 pour l'Île de France. La fin du XX<sup>ème</sup> siècle est marquée par la hausse des constructions de logement social individuel.

Aujourd'hui la loi définit que « La construction, l'aménagement, l'attribution et la gestion des logements sociaux visent à améliorer les conditions d'habitat des personnes de ressources modestes ou défavorisées. Ces opérations participent à la mise en œuvre du droit au logement et contribuent à la nécessaire mixité sociale des villes et des quartiers. La qualité de vie et d'habitat a évolué, mais les locataires des logements sociaux sont très affectés par la crise économique, leurs revenus ont baissé de près de 20% depuis le début du XXI<sup>ème</sup> siècle. Les constructeurs des logements sociaux ont comme principale mission de construire avec plus de qualité au moindre coût. La qualité se repose surtout sur la construction durable car les logements sociaux sont un des plus gros consommateurs d'énergie et sur la distribution des surfaces optimisant l'utilisation des surfaces utiles par logement.

### 3.1.2. MARCHE DU LOGEMENT SOCIAL EN FRANCE ET EN ÎLE-DE-FRANCE

Le parc locatif social en France est un secteur qui a énormément de poids dans l'économie française, représente 4% des dépenses publiques, dans le but d'offrir un logement confortable pour les habitants qui n'ont pas les moyens de se loger au prix du marché. Le logement social compte aujourd'hui près de 5,2 millions de logement, dont 4,3 sont gérés par les organismes HLM qui accueillent 10 millions d'habitants sur les 12 millions d'occupants, le reste est géré par les organismes publics et privés. Ces dernières années le logement social a évolué de 1,1%, les prévisions pour le futur du logement social est de continuer à augmenter pour servir à la population qui économise en moyenne 160€ par mois. La Figure 3.3 montre que le nombre de logements HLM existant est directement lié à la population de chaque région.

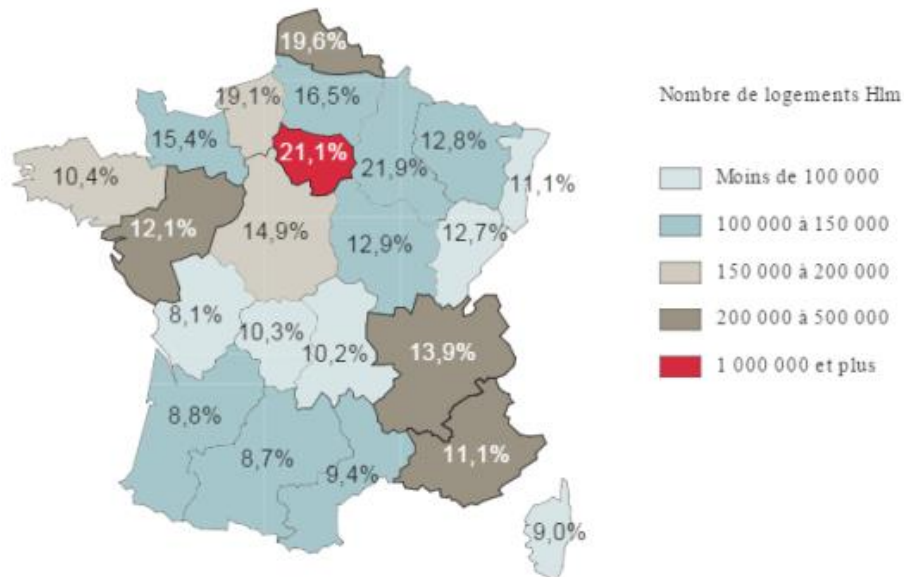


Figure 3.3 – Nombre de logement par région [46]

L'Île de France souvent appelé « région parisienne », est la région la plus peuplée avec près de 12 millions d'habitants et aussi la plus dense avec 986.8hab/km<sup>2</sup>. Cette région est la région qui produit le

plus de richesses dans le pays et la deuxième à niveau européenne, ce qui montre le poids de cette région dans l'économie de la France et de l'Union Européenne. L'Île-de-France est constituée par 8 départements, Paris (75), Essonne (91), Hauts-de-Seine (92), Seine-et-Marne (77), Seine-Saint-Denis (93), Val-de-Marne (94), Val d'Oise (95) et les Yvelines (78). La région qui a résisté longtemps à la déprime du marché immobilier est aujourd'hui en baisse (Figure 3.4), en 2012 le prix par m<sup>2</sup> est estimé à 8440 euros et est passé en Mars 2015 à 7.826 euros [47].

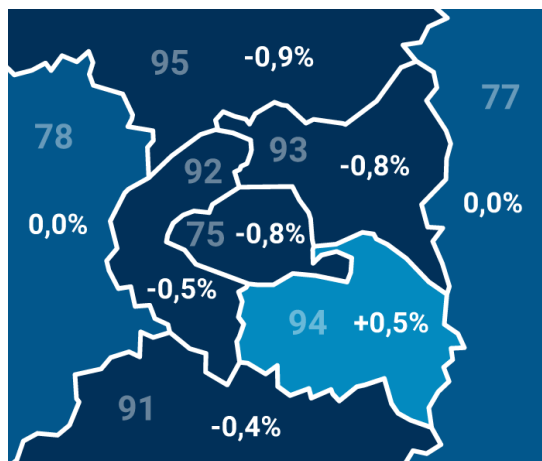


Figure 3.4 – Croissance du marché immobilier dans l'Île-de-France [47]

La France traverse une période de peu d'activité de construction mais le secteur du logement social est plutôt actif car les Villes doivent augmenter dans les meilleurs délais leurs nombres de logements pour respecter la nouvelle loi, le secteur représente plus de 25% de l'ensemble des mises en chantier. En Île-de-France il y a 1,2million de logements locatifs sociaux, cela représente près de 27% du total du parc social métropolitain [46].

La construction de logement social est toujours insuffisante, la loi du Grand Paris et le Schéma Directeur de la Région Île-de-France, SDRIF, ont prévu la construction de 70.000 logements par an mais jusqu'aujourd'hui il ne s'est pas fabriqué plus de 35.000 logements par an. Entre 2005 et 2013, l'Île-de-France a vu pousser plus de 200.000 nouveaux logements, cela est insuffisant face à la demande qui a franchi les 550.000 logements [48].

## 3.2 PRESENTATION DE L'ENTREPRISE

### 3.2.1 GROUPE BOUYGUES

En 1952, Francis Bouygues complète sa formation d'ingénieur avec une formation de manager à 29 ans, il décide alors de créer son entreprise comme entrepreneur du bâtiment. L'entreprise démarre avec un bureau d'études et un bureau de méthodes et se spécialise dans les méthodes de construction industrielles en profitant de la crise du logement provoquée par la Seconde Guerre mondiale. Francis Bouygues est nommé conseiller technique au ministère de la reconstruction en 1955, et cela fut essentiel pour la croissance du Groupe Bouygues. Il acquiert des connaissances importantes pour obtenir des commandes publiques. Son entreprise s'étend dans d'autres secteurs de la construction comme les travaux publics, l'immobilier, la préfabrication puis elle se déploie en France et au niveau international.

Aujourd'hui, le Groupe Bouygues est dirigée par Martin Bouygues qui est le Président-Directeur Général. Le groupe est un groupe industriel diversifié qui s'appuie sur trois activités, la construction, les télécoms et les médias (Figure 3.5), le groupe compte sur un effectif de 127.470 collaborateurs présents dans plus de 100 pays [49].

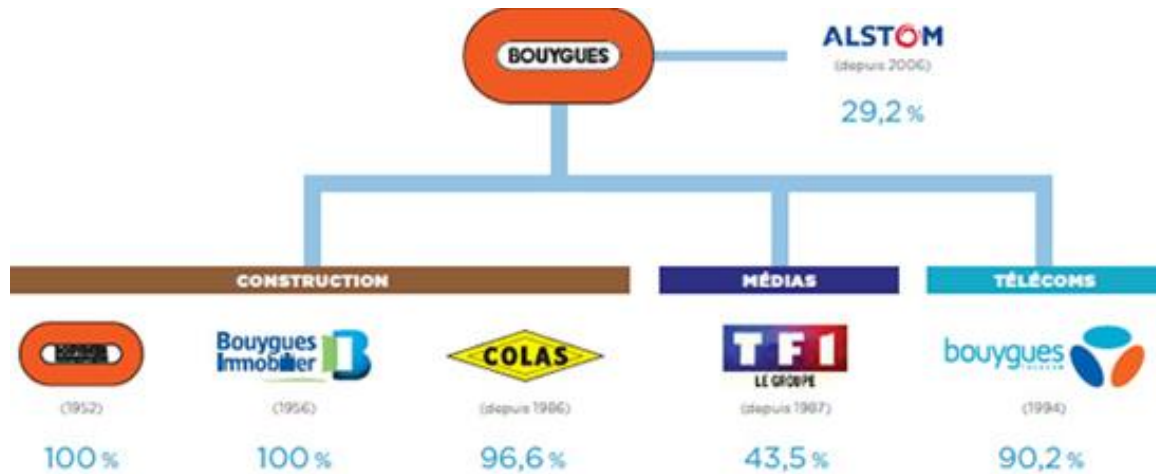


Figure 3.5 – Organigramme du Groupe Bouygues (31/12/2014) [49]

### 3.2.2. BOUYGUES CONSTRUCTION

Bouygues Construction est la filiale base du Groupe Bouygues, elle est aujourd'hui une des plus puissantes entreprises de construction et génie civil au niveau mondial. Cette entreprise est constituée de 8 filiales complémentaires (Figure 3.6), chacune spécialisée dans son secteur, elle compte 53 500 collaborateurs sur les 5 continents.

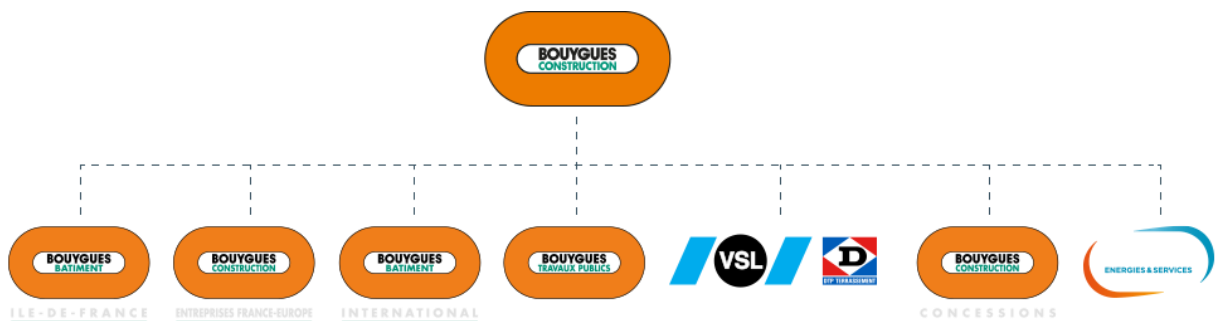


Figure 3.6 – Organigramme de l'entreprise Bouygues Construction [50]

Bouygues Construction prime pour son expertise et la qualité de ses constructions tout en respectant l'environnement. Sa stratégie de développement a comme axe principal la construction durable et consacre 50% des dépenses de R&D à ce thème. Elle a créé un label interne baptisé de « Ecosite » qui permet de garantir le respect de standards environnementaux les plus exigeants : plus de 71% de ses chantiers sont labellisés Ecosite [50].

Bouygues construction représente plus d'un tiers du chiffre d'affaires du Groupe Bouygues, avec 11,7M€ pour un chiffre d'affaires total du groupe de 33,1M€. L'activité de l'entreprise est réalisée sur les 5 continents, c'est en France où l'entreprise intervient le plus avec 51% en 2014, mais la tendance est à l'augmentation des affaires internationales, en 2013 l'activité réalisée hors frontières était de 46% (Figure 3.7) et a augmenté jusqu'à 49% en 2014.



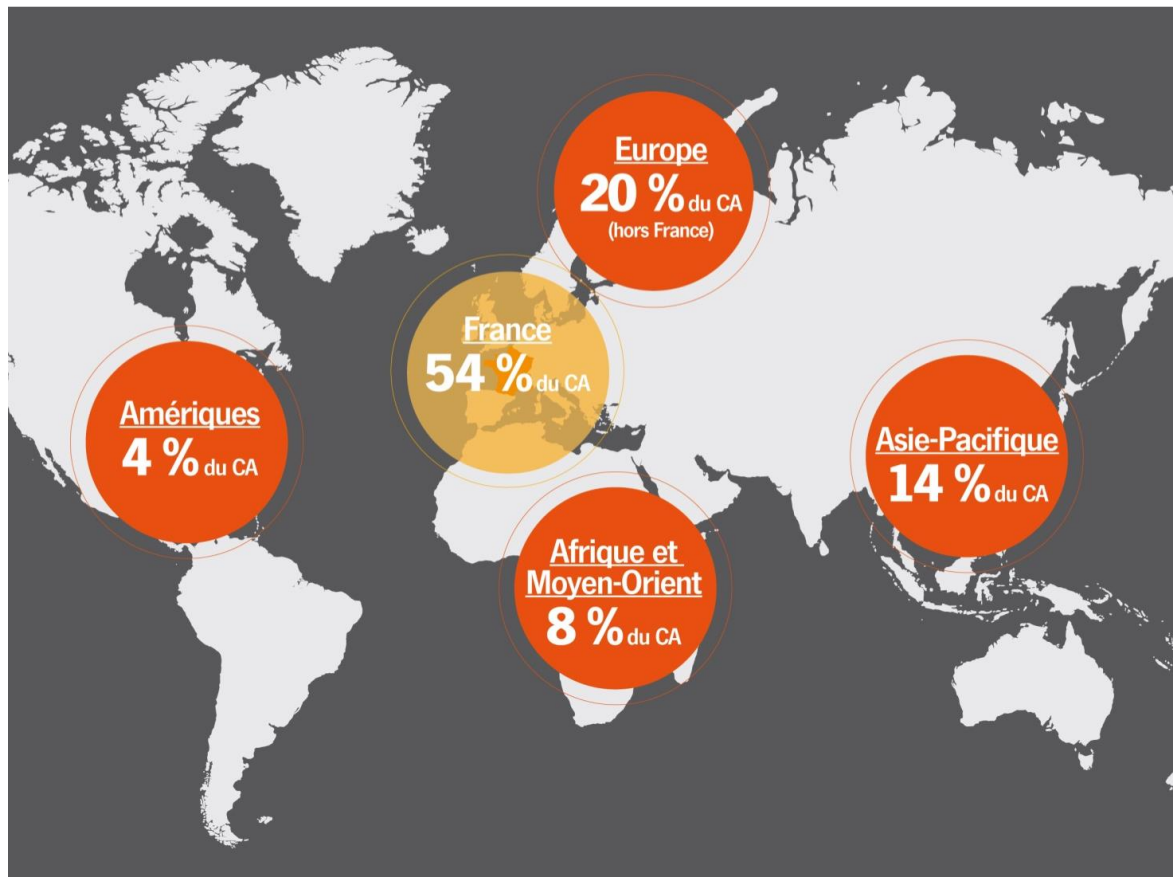


Figure 3.7 – Chiffre de Bouygues Construction en 2013 [50]

L'internationalisation du groupe est essentielle pour assurer sa place comme l'un des leaders mondiaux du marché, c'est pour cela que l'adoption de la maquette numérique au sein de toutes les filiales est importante.

Bouygues Construction travaille sur la maquette numérique depuis 2007, le premier projet réalisé à l'aide du BIM a été fait en 2009, au Canada.

Actuellement les directions, Prospectives, R&D et techniques de Bouygues construction travaillent pour préparer l'avenir de l'entreprise en présentant une vision à long terme de ce que la maquette numérique peut apporter demain. Un des derniers projets stratégiques présenté par le groupe, baptisé « B In Motion » est dédié à l'ère numérique et s'appuie sur trois piliers principaux [28]:

- La réingénierie des processus pour favoriser le travail collaboratif le plus en amont possible ;
- L'évolution des systèmes constructifs vers plus de standardisation et d'industrialisation ;
- L'utilisation intégrale des outils BIM.

Ces axes stratégiques d'évolution avec la maquette numérique permettent à l'entreprise d'être très présente sur la grande partie des pays où cette nouvelle technologie est vue comme essentielle. La figure ci-dessous montre les démarches faites par les pays pour augmenter le niveau d'implémentation du BIM.



Figure 3.8 – BIM dans le monde [51]

Ce sont dans les pays plus industrialisés où s’instaurent le plus de normes et réglementations, et où le groupe doit s’adapter et utiliser les avantages du BIM afin de non seulement respecter ces normes et réglementations mais aussi de se distinguer de ses concurrents en exploitant au mieux la maquette numérique.

### 3.2.3. BOUYGUES BATIMENT ÎLE DE FRANCE HABITAT SOCIAL

Bouygues Bâtiment Île-de-France – Habitat Social est une des nombreuses filiales qui constitue l’entreprise Bouygues Bâtiment Île-de-France (Figure 3.9). Bouygues Bâtiments Île-de-France intervient dans les domaines des équipements publics, les ouvrages tertiaires privés, les logements et le génie civil industriel.

La filiale Habitat Social exerce l’activité fondatrice du Groupe Bouygues, elle est la seule entreprise qui se dédie exclusivement au logement social ce qui lui permet d’être le leader du logement social dans la région de l’Île-de-France.

Depuis son début, Habitat social est resté sur le même marché ce qui donne à ses équipes une connaissance unique du territoire francilien et de leurs clients, nouant de fortes relations avec tous les bailleurs sociaux de la région. Elle s’appuie sur son expérience, son savoir-faire et son expertise de concepteur-constructeur, depuis que cela est permis pour les logements sociaux, pour développer ses projets

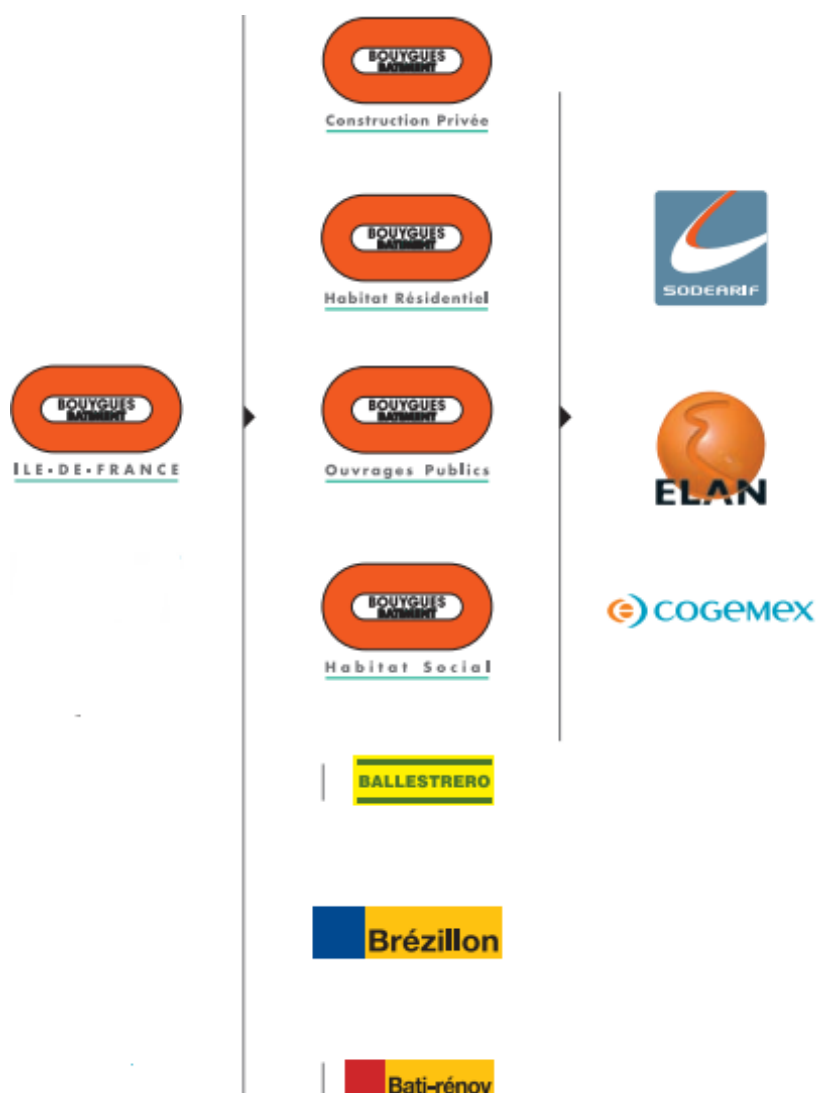


Figure 3.9 – Organigramme de Bouygues Bâtiment Île-de-France [28]

L'entreprise intervient sur tous les besoins des bailleurs sociaux dès :

- Les logements familiaux, collectifs, semi-collectifs et individuels ;
- Des Foyers de jeunes travailleurs ;
- Résidences étudiantes ;
- Résidences pour personnes âgées ou dépendantes ;
- Établissements spécialisés Alzheimer, autistes.

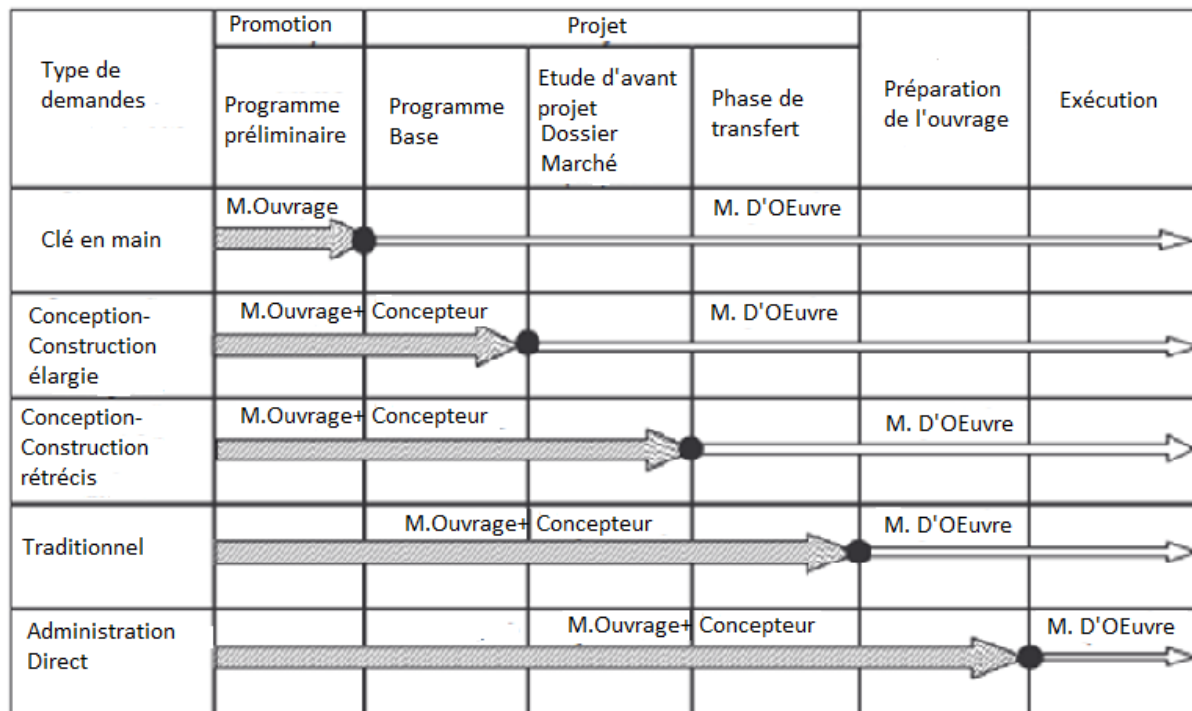
Bouygues Bâtiment IdF Habitat Social est leader grâce à sa constante évolution et innovation, elle est pionnière sur tous les sujets liés au développement durable. Cette filiale a anticipé dans tous les domaines les changements de réglementations proposant à ses clients des labels énergétiques supérieurs afin de leur offrir des études plus complètes notamment avec l'intégration des études de coût global de l'ouvrage.



### 3.3. DIRECTION D'INGENIERIE DE PROJET

La direction d'ingénierie de projet est responsable pour le développement technique des projets de type conception-construction, appel d'offre et montage. La principale différence entre ces types de contrats est le moment où l'entreprise prend connaissance du projet et intervient sur lui, comme il est possible de voir dans le tableau ci-dessous.

Tableau 3.1 – Différents type de contrats [adaptée de 52]



Le travail de cette direction intervient principalement pendant la phase commerciale, la phase d'étude et la phase exécution, entre ces deux dernières phases il peut aussi être distingué la phase transfert.

Les deux dernières phases sont les phases plus techniques du projet, elles sont perçues dans le secteur comme la phase d'étude du projet et la phase de réalisation des études produites.

#### 3.3.1. PROJET EN PHASE COMMERCIALE ET D'ETUDE

##### 3.3.1.1. COMMERCIAL

Les commerciaux sont responsables pour obtenir les nouvelles affaires, ils ont le premier contact avec ces affaires et les clients. L'intervention des commerciaux se décompose essentiellement en trois phases :

- La phase avant l'accord avec le client ;
- La phase entre l'accord avec le client au dossier marché ;
- La phase du dossier marché au transfert.

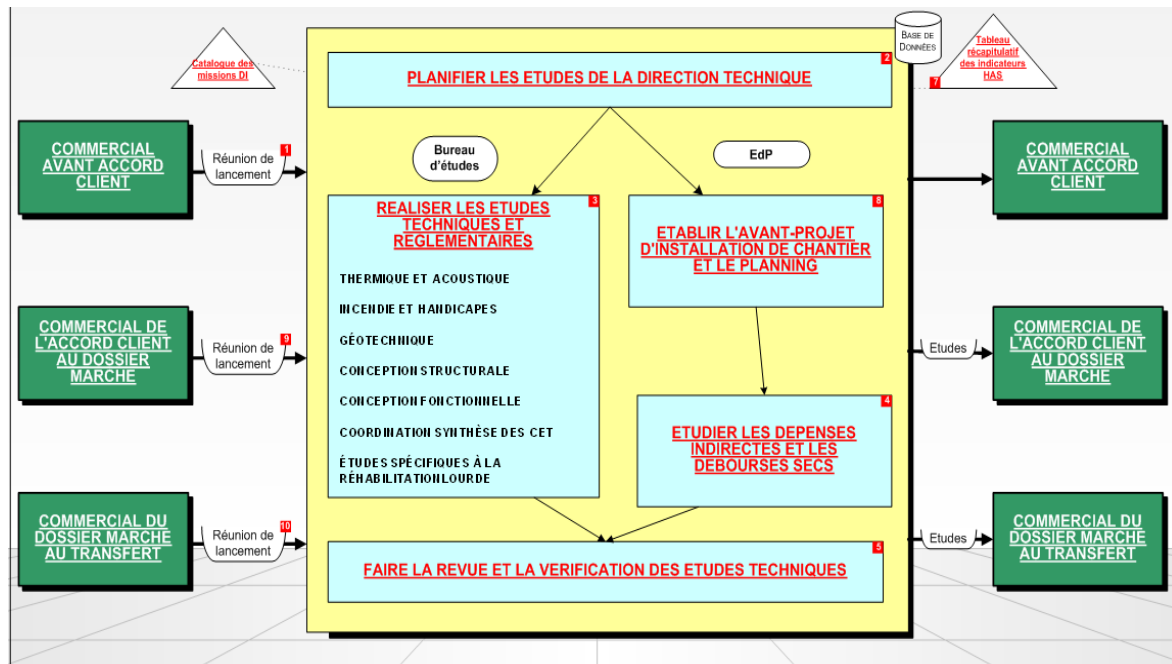


Figure 3.10 – Flux d'activité pendant la phase commerciale [28]

Après avoir pris connaissance de l'affaire et bien compris les nécessités du client en analysant ligne par ligne quelles sont les demandes du client, ils planifient les études à réaliser par la direction technique. Les études techniques sont planifiées sur une plateforme informatique commune à tous les collaborateurs appelé « Chorus ».

Cette plateforme permet d'établir le planning commercial en affectant un rôle à chaque tâche. Cette plateforme permet aussi aux intervenants de pouvoir accompagner et mettre à jour l'évolution du projet avec tous les documents produits au long des études en parallèle. Cette plateforme est expliquée dans le sous-chapitre 4.5.3.

Les collaborateurs de la direction d'ingénierie de projet (DIP) prennent connaissance de l'affaire suite à la réunion de lancement. Pendant cette réunion de lancement les commerciaux fournissent les documents aux études de prix (EDP) et aux bureaux d'études techniques (BE), au cours de la réunion il est fait la plupart des choix d'études et une première estimation du coût de ces études. Ils définissent aussi les modes opératoires, les zones métrées, la composition et l'organisation du tableau d'assemblage. Une fois définies la stratégie d'étude et la date de remise d'études ils créent la feuille de lancement qui servira de base pour les études de la direction technique.

Les commerciaux analysent ensuite plusieurs documents comme les pièces administratives d'appel d'offres, les pièces techniques d'appel d'offres et d'études et la cause d'insertion. Ils font le chiffrage des corps d'états secondaires (CES), soit le chiffrage de tout ce qui n'est pas dans le Gros Œuvre.

Dans les affaires plus simples les commerciaux peuvent faire une partie du chiffrage des Gros-Œuvres aussi grâce à leur expérience et à l'organisation interne de l'entreprise qui fournit des bibles et des chartes facilitant ainsi leurs tâches. Après l'obtention des chiffrages du projet l'équipe commerciale remplit une feuille de vente et soumet le dossier aux clients ou à l'architecte responsable pour la conception du projet.

### 3.3.1.2 ÉTUDE DE PRIX

Cette cellule est responsable du chiffrage du projet dès la phase commerciale jusqu'à la phase des travaux, elle intervient au moment où elle reçoit une copie des documents de l'affaire. L'étude de prix commence par reconnaître le terrain qui leur permet de faire un état des contraintes liées aux bâtiments avoisinants (principalement pour prévoir l'emplacement de la grue), aux possibles bâtiments à réhabiliter, aux réseaux entre autres. En fonction de la visite au terrain ils produisent l'avant-projet d'installation de chantier, ce document est le premier de la base du Plan d'Installation du Chantier qui est expliqué dans le sous-chapitre suivant.

Ensuite il est fait une étude de la conception en déterminant les modes opératoires possibles à exécuter selon la nature de la structure et les contraintes du projet. Généralement les ingénieurs d'études de prix mettent leur savoir-faire pour optimiser le projet, ils proposent plusieurs variantes de modes opératoires ou de matériaux en collaboration avec le bureau d'études et vérifient leur adéquation avec l'avant-projet d'installation de chantier et le planning. Les variantes proposées peuvent être de plusieurs natures comme par exemple :

- Modification de matériaux ;
- Modification des systèmes constructifs ;
- Déplacement ou élimination d'élément en construction ;
- Dégradation de prestation.

Après la validation de la part du responsable d'affaires sur les modes opératoires, chaque plan est analysé afin de déterminer la durée d'exécution, cette détermination prend en compte le mode opératoire choisi, la difficulté spécifique, la répétitivité des tâches, les contraintes environnementales et la réservation des engins de levage (principalement la grue).

Pendant la phase de soumission, l'étude de prix produit aussi le planning d'exécution prévisionnel pour estimer les délais nécessaires pour faire le chantier. Ce planning est important car les clients attribuent de plus en plus d'importance aux délais. Plus vite le bâtiment est construit plus vite les clients rentabiliseront l'investissement fait. Ce Planning est fait en utilisant l'outil « Planning EDP », développé sur Microsoft Project qui produit un planning sous la forme du diagramme de Gantt. Les collaborateurs possèdent une bible contenant tous les ratios et les données qui permettent de construire un planning réaliste en peu de temps. Les principales étapes pour la réalisation de ce planning sont :

- Ordre de service ;
- Préparation ;
- Travaux sous-traités de fondation et de terrassement ;
- Travaux en production propre ;
- Maçonneries et Finitions de gros œuvre ;
- Travaux des corps d'état secondaires ;
- La marge par rapport au délai client.

Après la réalisation du planning il doit être vérifié sa compatibilité avec le délai donné par le Maître d'Ouvrage. S'il y a une incompatibilité elle est formalisée dans l'analyse de risques et ensuite l'ingénieur justifie sa décision au responsable d'affaires. A l'identique de toutes les études faites par les ingénieurs il est fait un bouclage, dans ce cas c'est le bouclage du planning. Elle se déroule seulement quand le responsable du bouclage a pris connaissance de tous les documents, y compris les documents de l'étude du bureau d'études.

L'étape suivante de l'équipe d'études de prix consiste à déterminer les dépenses indirectes et les déboursés secs. Cette étape se décompose en deux groupes, l'étude technique et le chiffrage des

dépenses indirectes, pour ce dernier l'entreprise a produit un document pour aider les collaborateurs appelé "bible de chiffrage des indirects". Le chiffrage des dépenses indirectes comprend principalement:

- Les Frais de chantier tel que le matériel, les services généraux, la maîtrise entre autres ;
- Frais de coffrage ;
- Agence ;
- Frais de voiries ;
- Préchauffage ;
- Incidences des risques environnementaux ;
- Incidences des risques Zone Urbaine Sensible.

La deuxième étude, dite étude technique, est faite pour définir la décomposition des métrés, ce choix est fait lors d'une réunion avec la présence de l'équipe des travaux qui donne son avis sur cette décision. Ceci est une étude clé pour la continuité du projet et assurer la cohérence du chiffrage au long du cycle de vie du projet.

Le chiffrage doit être précis car cela influe directement sur les coûts de main d'œuvre, des matériaux et sur les délais donnés aux clients. Un oubli d'un voile d'un étage courant par exemple diminue considérablement les coûts, la main d'œuvre nécessaire pour construire ce voile ainsi que les matériaux et les équipements nécessaires ne sont pas comptabilisés. Cet oubli apportera des problèmes plus tard, à l'inverse si les métrés sont supérieurs à la réalité, l'entreprise risque de perdre l'affaire.

Les règles des métrés Gros-Œuvres sont définies dans un document interne compatible avec les outils de chiffrage, qui soutient les nouveaux métreurs en leur fournissant la désignation des ouvrages à utiliser, l'unité et le mode de métrés. Les métrés sont généralement faits en interne et en externe, la Bible des métrés permet ainsi d'homogénéiser la façon de métrer des EDP et des métreurs externes. Le recours aux métreurs externes est dû aux délais serrés des appels d'offres. Cela permet aussi de libérer de cette tâche l'équipe technique qui peut ainsi réfléchir à plus de variantes, qui est son cœur de métier. Les métrés faits en externe sont principalement les métrés des surfaces hors œuvres (SHO) et les façades pour profiter de l'expérience des métreurs.

La cellule EDP utilise plusieurs outils de chiffrage pour automatiser et augmenter la productivité interne libérant ainsi plus de temps pour augmenter la qualité des études. L'entreprise utilise une base de données, commune à plusieurs filiales appelée « Polybrain ». Cette base de données fournit les prix des prestations tenant en compte le type d'ouvrage, le statut du contrat si c'est une offre commerciale, une offre de travaux ou une offre de sous-traitance, la localisation du chantier et aussi la valeur du marché au moment de la recherche. Cette base de données et les bibles disponibles sont la base pour tous les chiffrages. Les étapes de travail de la cellule EDP sont l'étude des ratios, la faisabilité et l'étude rapide, ces étapes sont réalisées avec la contribution des différents outils comme il est possible de voir dans les trois prochains paragraphes.

Etude au ratio - Cette étape est rapide, les collaborateurs avec le plus d'expérience étudient l'affaire prenant une vision généraliste du projet qui sert de base pour déterminer entre autres les temps unitaires, les ratios de déboursés secs, les modes opératoires. Il est nécessaire que ce soit un ingénieur avec de l'expérience car il faut avoir une vision intuitive des particularités du projet.

Faisabilité - Cette phase a comme objectif déterminé une enveloppe de prix du projet, pour cela les collaborateurs utilisent le « CARGO » qui permet de faire une étude rapide se basant sur des ratios et les prix unitaires, cet outil est aussi utilisé dans la prochaine phase. Pendant cette phase ils chiffreront

aussi les Frais de Chantiers et si les tâches sont faites en production propres (PP), ou en sous-traitance (ST);

Etude rapide – Cette phase est divisée en trois étapes :

- Déboursé sec rapide, l'utilisation du « CARGO » est aussi essentielle pour déterminer le budget nécessaire pour les Gros Œuvres, pendant cette étude les collaborateurs du BE, Bureau d'Etude interviennent pour certains dimensionnements. Cette étape englobe aussi le remplissage du tableur « GOST », le « GOST » est un outil développé sur Excel qui permet d'obtenir les ratios des étages courants, des fondations etc. A la fin de cette phase il est possible d'observer les plans coloriés, les éléments réalisés par le BEH, l'impression de « GOST » ou du Polyval en cas d'existence de niveaux complexes ;
- Déboursés sec complet (LARGO), cette phase a pour but de déterminer les coûts de l'ensemble d'une opération utilisant un outil nommé « LARGO », cet outil permet d'assembler les GOST par niveaux nécessaires d'assemblage, la répartition est définie avec les commerciaux.
- Déboursés sec complet (POLYVAL), pendant cette phase il est fait le budget des Gros Œuvres de l'ensemble d'une opération utilisant le Polyval. le Polyval est un outil de chiffrage pour réaliser des études de prix de gros œuvre, de second-œuvre, sous-traité ou non avec rapidité et précision.

Après avoir complété l'étude des dépenses indirectes et les déboursés secs il est fait le bouclage et ensuite il est fait la revue et la vérification des études techniques, mais cela n'est fait que quand le bureau d'études a finalisé les études techniques et réglementaires.

#### 3.3.1.3. BUREAU D'ETUDES

Le bureau d'études est divisé en plusieurs métiers donc pour réaliser les études techniques et réglementaires il est nécessaire d'avoir une bonne coordination et collaboration de tous les intervenants. Les principales études faites par le BE sont :

- Etudes géotechniques ;
- Etudes Structures Avant-Projet ;
- Etudes réglementaires thermiques et acoustique ;
- Etudes réglementaires incendie et handicapés ;
- Coordination et Synthèse des CES ;

L'étude géotechnique est faite à partir de la feuille de lancement, des plans fournis pendant la réunion de lancement, le permet de construire, le rapport de sol entre autre. Le contenu et la précision de cette étude est en fonction de la phase d'avancement du dossier, le but de cette étude est d'analyser les interactions sol-structure et la conception des bâtiments. Les principales conclusions sont la détermination du type de fondation qui s'adapte mieux à la situation, le taux de travail résultant de ce choix, les modes opératoires nécessaires pour la réalisation des murs périphériques d'infrastructure, le terrassement nécessaire.

Pendant la conception structurale les ingénieurs du BE analysent les plans et les descriptifs fournis par l'architecte ainsi que la feuille de lancement pour vérifier la cohérence de ces documents avec les calculs qu'ils réalisent utilisant les règles de calculs définies par les documents normatifs des avant-projets de structure. Les études réalisées sont divisées en quatre, l'étude audit, l'étude Chiffrage rapide (GOST), l'étude pour la mise au point marché et l'étude pour le transfert, cette séparation est directement liée à l'avancement de l'affaire et à son besoin de précision.

L'entreprise a fourni aussi un guide pour aider les collaborateurs à corriger les plans structuraux si nécessaire. Pendant cette phase, études type chiffrage rapide, il n'y a pas la nécessité de déterminer la quantité d'acier précise, à ce niveau la quantité d'acier est estimée suivant des ratios. Cette section est aussi responsable pour le calcul de la descente de charge, proposant un nombre de pieux obtenus par la répartition statistique des pieux par charge. Les données produites par cette section sont fournies à l'étude de prix pour qu'ils puissent compléter leurs chiffrages. Pendant la phase de l'accord client au dossier marché il est fait une étude plus précise dont la majorité des problèmes structurels sont résolus, les dimensionnements principaux sont faits, les incidences des réseaux et des gaines sont prises en compte, les études des réglementations handicapé et incendie ainsi que les études thermique – acoustique sont intégrées dans le projet.

L'équipe responsable pour étudier la thermique et l'acoustique vérifient la cohérence du projet sur le respect des dispositions contractuelles légales et réglementaires ainsi que la vérification de la compatibilité entre les plans et les pièces écrites. Comme le BE avant-projet les études sont aussi divisées en quatre groupes. Selon l'avancement de l'affaire, il y a l'étude type audit rapide, l'étude de l'audit, l'étude de faisabilité et l'étude complète. Ce qui distingue ces études est le niveau de précision qu'elles ont au fur et à mesure que le projet avance. Les deux premières études sont plus des analyses que proprement des calculs.

Ils analysent dans un premier temps les ratios des surfaces habitables avec les surfaces hors œuvre nette, ensuite ils font les calculs thermiques s'appuyant sur un logiciel interne d'utilisation facile qui permet d'obtenir une valeur approchée de l'indice « Bbio ». Cet indice traduit l'impact de la conception bioclimatique sur la performance énergétique de la construction. Avant d'envoyer les documents aux commerciaux, les équipes des études thermiques et acoustiques produisent un document de synthèse précisant les moyens et les dispositions à mettre en œuvre pour pouvoir faire le chiffrage. Ce document présente plusieurs variantes, il explique ces variantes identifiant l'impact que ces modifications ont tant sur le plan de la performance du bâtiment que sur le plan économique, les variantes sont souvent dues à des modifications de matériaux ou des solutions constructives. Les collaborateurs de ce métier éditent leurs plans avec plusieurs couleurs afin de différencier les différents types d'isolant et leur position, permettant une perception du projet plus rapide. Il est possible aussi de fournir une note de calcul d'acoustique de façade.

Quand l'affaire est remportée, l'équipe « thermique et acoustique » fait une étude complète appelée étude du transfert. Pendant cette étude ils chiffront avec plus de précision l'ensemble des prestations thermiques et acoustiques en utilisant un logiciel plus puissant appelé *Archiwizard*, qui est un logiciel de simulation thermique dynamique (STD).

Ce logiciel thermique calcule l'indice « Bbio » et l'indice « Cep », l'indice « Cep » caractérise la consommation d'énergie primaire du bâtiment. Une fois que les préconisations thermiques sont définies, comme le matériel isolant, son épaisseur, les équipements, elles sont intégrées à nouveau dans la maquette.

Une étude plus précise dans une phase amont est de grande importance, c'est pour cela que l'entreprise a créée une section responsable de la vérification de la conformité du projet. Ce métier est important pour l'entreprise car les bâtiments construits par l'entreprise sont souvent composés de trois niveaux, le parking, le rez-de-chaussée et l'étage courant. Cette décomposition permet d'optimiser l'étude du projet, mais s'il y a une erreur ou un oubli dans l'étage courant cela peut se traduire comme un futur surcoût considérable, donc le principal objectif de cette section est de garantir que le projet commence sans erreur pour assurer une construction sans surcoût pendant la phase de construction ni

pendant la phase d'exploitation. Pour cela elle analyse tous les plans produits par l'entreprise de la phase commerciale à la phase d'exécution, et cela est appliqué à tous les types d'affaires.

Le déroulement de la mission des équipes responsables de la synthèse et conformité peut être divisé en 5 phases ; la phase de conception, la phase d'études préliminaires, la phase de la mise au point, la phase de préparation et la phase d'exécution. En phase de conception l'étude de la synthèse commence lors de la réunion de lancement organisée par le commercial responsable de l'affaire. Initialement ils analysent les plans fournis par l'architecte, enchaînant ensuite avec l'analyse de la conformité des plans produits par les équipes de l'étude de prix, du bureau d'étude, du métreur, de la thermique et de l'acoustique suivant les réglementations et normes pour les incendies et handicapés. Cette section est aussi responsable pour vérifier la conformité du projet selon le plan local d'urbanisme, et le cahier des clauses techniques particulières.

L'équipe responsable pour étudier les CES (corps d'états secondaires) et les VRD (voiries et réseaux divers) sont responsables pour les dimensionnements et coordinations des réseaux, ils vérifient leur compatibilité avec le gros-œuvre. Cette étude est très importante pour une construction de qualité et de respect des délais, une erreur de projet qui échappe à cette étude entraînera des problèmes pendant la phase d'exécution et sera beaucoup plus difficile à résoudre qu'elle ne le serait pendant la phase de projet.

Pour cela ils analysent les documents fournis lors de la réunion de lancement, les documents normatifs et détectent les incidences sur les structures, les détails de superpositions et de croisement et le respect des gabarits.

Pendant toutes ces phases une masse d'informations est produite et le risque d'erreur est grand; il appartient donc au responsable de l'affaire de gérer toute cette information. Généralement pendant le déroulement d'un projet il y a plusieurs modifications, elles peuvent venir par exemple d'une nouvelle demande du client, de points détectés non conformes, de l'acceptation d'une variante entre autres. Pour assurer que tous les collaborateurs aient accès à l'information le responsable d'affaire met à jour le déroulement du projet sur la plateforme Chorus, et tient plusieurs réunions entre tous les intervenants.

Une fois les études faites, le responsable du BE fait le point avec tous les responsables de chaque partie afin de vérifier la qualité et la cohérence des études réalisées. Après cela le responsable du BE soumet l'ensemble des documents au responsable du bouclage, qui analyse principalement les grandes options prises et l'homogénéité des études techniques entre elle.

Pour finaliser les tâches de la direction technique pendant cette phase, le BE et l'EDP font en collaboration la revue et la vérification des études réalisées. Pour réaliser cette phase il est établi une analyse de risque du BE sur la plateforme Chorus, cette analyse inclut les risques du projet liés à l'environnement, l'hygiène, la santé et la pollution. Ensuite il est fait aussi une analyse de risque pour l'étude de prix, pendant cette analyse les principaux risques sur les choix faits sont identifiés comme par exemple, l'installation de chantier, les modes opératoires particuliers, l'hygiène, la santé, la sécurité, le planning, les impacts environnementaux. Après cela les responsables de chaque cellule s'assurent de la cohérence de toutes les études et il est créé dans la plateforme Chorus une nouvelle étape du projet appelé « Synthèse DT ». Les prochaines phases du projet sont de la responsabilité des commerciaux.

### 3.3.2. DIRECTION TECHNIQUE EN PHASE EXECUTION

Les collaborateurs de la Direction d'Ingénierie de Projet interviennent à nouveau pour le développement du projet. Les commerciaux présentent l'affaire aux travaux au moins 1 mois avant l'ordre de service, les commerciaux fournissent une série de documents comme par exemple, l'accord du client, le permis de démolir, le permis de construire, le cahier des clauses techniques particulières, les plans d'architectes avec la liste de modifications, le PIC, les avant-projets d'infrastructure... Les équipes mobilisées pour les études de gros-œuvre sont les équipes du bureau d'études, d'exécution et des méthodes (Figura.3.11).

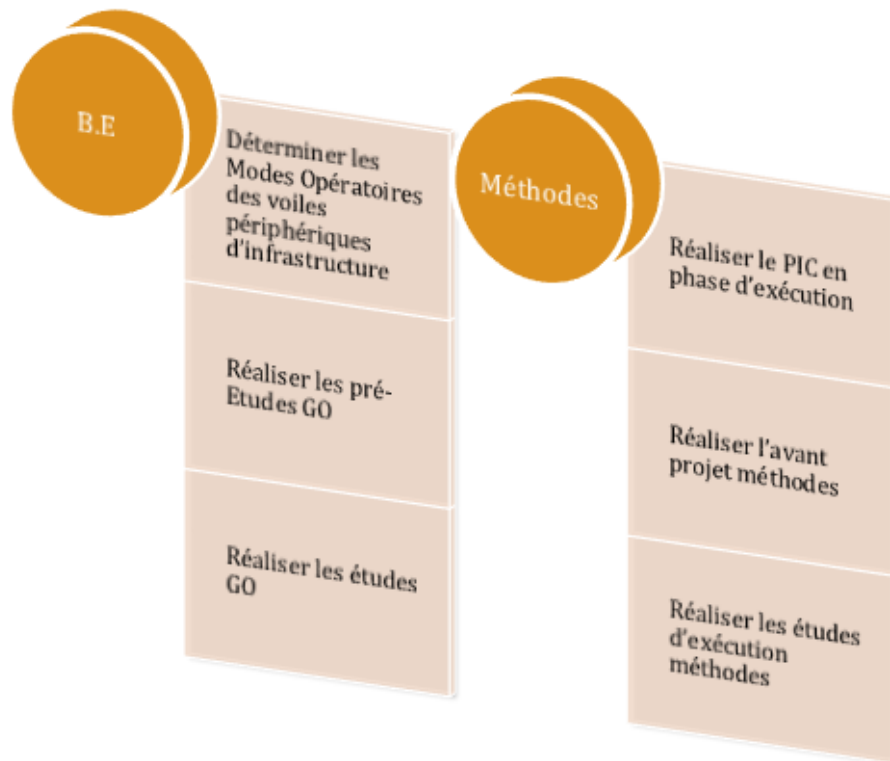


Figure 3.11 – Flux d'activités en phase d'exécution

#### 3.3.2.1. BUREAUX D'ETUDES EXECUTION

La première étape pour la réalisation des tâches associées au BE exécution est de déterminer les modes opératoires des voiles périphériques d'infrastructure et de produire un plan de repérage de ces modes opératoires.

Pour cela les collaborateurs doivent connaître les avoisinants et le sol afin d'assurer la stabilité des avoisinants. Ensuite ils sont responsables pour rédiger la synthèse des options techniques qui complètera l'analyse de risques du commercial et de la direction technique, ces documents serviront de base pour la réalisation du plan particulier de contrôles.

La deuxième étape des équipes du BE s'occupe de la réalisation des pré-études des gros-œuvres, ils analysent les données d'entrée s'il y a une modification ils les soumettent au responsable des travaux. Ensuite il est fait une étude avec le responsable des méthodes afin d'établir un plan d'implantation des éléments porteurs. Avec cela ils réalisent la descente de charge et pré-dimensionnent les structures afin de vérifier si les épaisseurs des éléments définis antérieurement sont valables. Une fois toutes ces



étapes réalisées les collaborateurs du BE dessinent les fonds de plan qui serviront de base pour la réalisation des plans de coffrage.

La prochaine étape est faite à partir des résultats obtenus par les pré-études réalisées et des choix faits par l'équipe de travaux. Pour commencer le projeteur coffrage va compléter le plan de coffrage intégrant des éléments conformes aux documents normatifs et à ceux reçus des pré-études, mais pour finaliser le plan de coffrage il faut que l'ingénieur de structure réalise les minutes de calculs à partir des calculs de béton armé. Le plan de coffrage est ensuite transmis au responsable des travaux.

### 3.3.2.2. METHODES

Généralement les Ingénieurs Méthodes interviennent après la phase de soumission, cependant il peut arriver que les Ingénieurs d'études de prix recourent aux ingénieurs des méthodes sur des affaires plus complexes. Les affaires avec de nombreuses particularités doivent être réalisées avec leur collaboration pour étudier l'affaire avec plus de précision et de détails. La principale tâche des équipes de méthodes pendant la phase commerciale est la réalisation du plan d'installation de chantier (PIC) commercial, mais ils font aussi le plan de sécurité.

L'intervention des équipes de méthodes est importante car ils ont beaucoup d'expérience dans les phases d'exécution et cela leur permet d'identifier les possibles risques de futurs problèmes et d'épauler les équipes d'études de prix pour choisir les équipements de production et de sécurité plus adaptés au chantier.

Les méthodes interviennent principalement dans cette phase d'avancement du projet, la première tâche à réaliser est la production du plan d'installation de chantier en phase d'exécution, pour cela les collaborateurs analysent le dossier, notamment le plan d'architecte, plan de géomètre, le PIC commercial et beaucoup d'autres documents nécessaires pour la définition des principaux modes opératoires.

Une des tâches importantes pour bien préparer et planifier l'ouvrage est la visite du terrain. Cela leur permet d'observer quel est l'environnement qui entoure le terrain vérifiant ainsi plusieurs points :

- Présence de réseaux concessionnaires comme par exemple de gaz, d'électricité entre autre ;
- Présence d'antennes ou d'arbres ;
- Présence de grue sur des chantiers voisins ;
- Les zones de survol interdites ou sensibles ;
- Condition de la circulation et d'accès aux camions.

Une fois que le PIC est finalisé le responsable de travaux valide le PIC, une fois validé le PIC est diffusé au maître d'œuvre et aux autorités compétentes selon l'affaire.

La mission suivante consiste à la réalisation des différents plannings et de l'avant-projet méthodes. Les principaux plannings à étudier sont les plannings du gros-œuvre et des corps d'états secondaires. Les principales missions contenues dans le planning du GO sont :

- L'ordre de service, la préparation et l'installation du chantier ;
- La date de montage et le temps d'intervention des grues ;
- Les fondations ;
- Les infrastructures par niveau ;
- La superstructure par niveau ;
- Les terrasses
- Les autres ouvrages réalisés en cycle ;

- Une barre qui traduit la durée des CES
- La réception.

A partir de ce planning, le service Méthodes fait aussi le planning « homme-jour », ce planning est fait pour déterminer les tâches réalisées en production propre en utilisant les ratios de productivité interne. A partir des éléments fournis par les travaux il est aussi fait le planning des CES, ce planning contient:

- La date de l'ordre de service ;
- Les principales phases du gros-œuvre ;
- Les tâches d'exécution des corps d'état secondaires;
- Les dates d'interventions des concessionnaires.

Une fois que les plannings sont validés les méthodes réalisent l'avant-projet méthodes qui englobe la réalisation du pré-cycle, de la pré-sécurité et d'identifier les points particuliers de l'affaire.

Le pré-cycle est un document qui représente la planification théorique des tâches à réaliser jour par jour, ce document servira de base pour la réalisation du cycle et sera fait principalement sur un étage courant ou l'étage le plus significatif. Le plan est en couleur pour différencier les différents jours de collage afin d'avoir une meilleure perception du travail à réaliser.

La pré-sécurité est aussi un document temporaire qui servira de base pour la production du plan de sécurité. Ce document est une première proposition de sécurité générale qui sera adoptée pour la réalisation du projet et fournie aux intervenants pour une vision globale de la conception du projet.

Avant de tenir la réunion pour valider les choix pris au long de la réalisation du pré-cycle et de la pré-sécurité, il est mis en évidence tous les points particuliers que les collaborateurs ont identifiés. Ces points doivent être accompagnés dès que possible avec une possible solution de résolution et une date de prise de décision. Pendant la réunion le responsable méthodes explique et justifie quels ont été les choix pris sur la réalisation de tous les documents, comme le PIC, les plannings et les documents d'avant-projet.

La finalisation des missions des collaborateurs méthodes est faite après construction et validation de toute la documentation pour la phase d'exécution. Les documents produits pour la réalisation de cette tâche sont nombreux, les collaborateurs commencent par la réalisation du PIC en phase terrassement jusqu'au montage de la grue comprenant :

- Les accès piétons ;
- Les circulations de camions et d'engins ;
- Les talus ;
- Le repérage des VPI ;
- Les zones de stockage et les zones de livraisons.

Ensuite les ingénieurs mettent à jour le planning et est fait le calcul de la saturation de grue pour que l'équipe Travaux puisse définir son effectif. L'équipe Travaux peut aussi l'utiliser pour établir son planning. Pour la réalisation de cette tâche il est fourni une bible avec les valeurs de productivité moyenne en fonction des résultats obtenus lors des dernières études faites sur les temps d'exécution des différentes tâches.

La réalisation et planification des tâches qui sont associées à la grue dépendent principalement du calcul de saturation puisqu'une fois que la grue est totalement exploitée il est impossible de réduire les délais et il est inutile de renforcer la main d'œuvre. Ce calcul est réalisé à partir des hypothèses de

cycle et de planning réalisé pour tous les étages du projet mais les études plus détaillées sont faites uniquement sur l'étage courant car c'est l'étage le plus significatif du projet.

Pendant la réalisation de ce calcul les principaux points à cibler sont les longueurs des voiles, le numéro de poteaux, de poutres et la surface de sols. Pour bien prévoir et planifier l'ouvrage il est aussi important d'identifier le mode opératoire des différents éléments, si c'est préfabriqué ou construit sur place, d'identifier les zones faciles d'exécution et les zones difficiles d'exécution. Le service méthodes fait face à de nombreuses problématiques, ils doivent optimiser l'utilisation de la grue et en même temps optimiser les coûts. Par exemple le cas des poutres, choisir une poutre préfabriquée permet de réduire le temps d'exécution face aux poutres faites sur place mais ce choix entraîne une plus longue utilisation de la grue.

Postérieurement au calcul de la saturation de grue il est fait le plan de cycle représentant la planification jour par jour des éléments à réaliser. Ce plan vise principalement à optimiser les cycles de bétonnage des voiles et des sols, déterminant aussi le matériel nécessaire de coffrage pour réaliser le chantier. Pendant cette phase d'autres étages peuvent être étudiés si cela paraît nécessaire. Comme il a été fait sur le plan du pré-cycle, le plan cycle est en couleur afin de distinguer les différents jours de collage. Il faut faire attention à ne pas dépasser les ratios de référence de l'entreprise. Pendant la réalisation de ce document il est aussi fait une étude pour optimiser les choix des banches à appliquer en œuvre, car les banches ont plusieurs dimensions et cela joue énormément avec les jours de collage.

Une fois que les modes opératoires sont déterminés, les Méthodes produisent le plan de sécurité, ce plan est basé principalement sur la pré-sécurité, les règlements de sécurité et des préconisations internes. La réalisation de ce plan est astucieuse car il est fait une étude pour adopter les mêmes matériaux sur tous les étages, optimisant ainsi le coût d'étude, le coût associé aux matériels et surtout l'augmentation de la productivité par la répétition des tâches.

Avant que le responsable Méthodes ne fasse le dossier de commande de tous les matériaux nécessaires pour assurer la réalisation de cette phase du projet, il est fait une étude sur les modes opératoires des points particuliers de l'ouvrage, accompagnée par des schémas illustrant les modes opératoires détaillés, les matériaux utilisés et les éléments de sécurité associés à ces points particuliers. Il est aussi identifié les possibles risques de retardement des travaux.

Pour conclure cette étape il est fait le PIC de la phase des corps d'états secondaires réorganisant les installations du chantier pour la phase postérieure au Gros Œuvre.



## 4

## Développement du BIM

## 4.1. MOTIVATIONS DE L'ENTREPRISE

Cette filiale, leader sur son marché a vu aussi la nécessité d'adopter les technologies BIM afin d'anticiper l'imposition de nouvelles directives concernant l'utilisation de la maquette numérique. Cette adoption du BIM permet aussi d'affirmer sa position de leader. Le marché des logements sociaux a un futur prometteur mais en ce moment le marché n'est pas très dynamique, même si le besoin de construire de nouveaux logements sociaux est présent. La crise économique actuelle retarde considérablement ce type de construction. Face à cette situation, pour rester leader il est impératif de construire moins cher sans affecter la qualité.

L'entreprise qui construit près de 25% des logements sociaux de la région francilienne, a été directement influencée par la directive européenne 2014/04/UE qui encourage les pays de l'Union Européenne à utiliser le BIM pour la réalisation de leurs projets. Cette directive n'est pas une surprise pour les pays industrialisés comme le Royaume-Uni, le Danemark, les Pays-Bas, la Finlande et la Norvège qui ont déjà adopté des directives BIM. La France étant un des pays les plus influents de l'Europe a aussi annoncé que la maquette numérique deviendra obligatoire pour les marchés publics d'ici 2017.

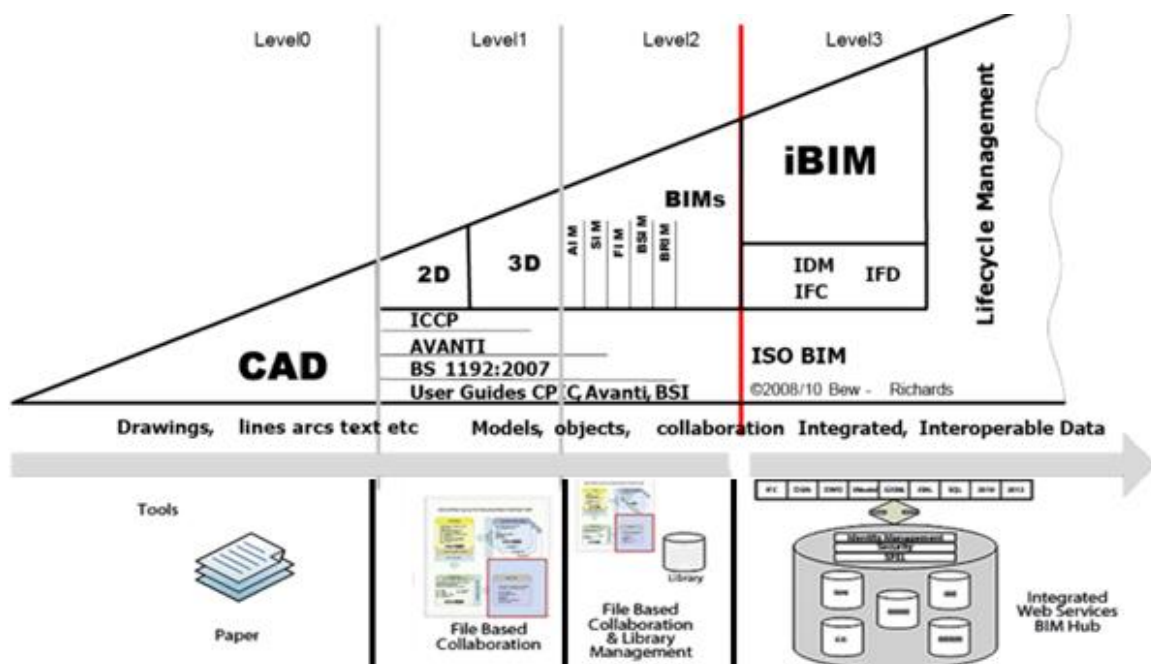


Figure 4.1 – Niveau de maturité du BIM [53]

L'évolution de la maquette numérique a aussi modifié les processus de travail en optimisant l'automatisation, en ayant un traitement de l'information plus fluide et surtout plus de collaboration entre les acteurs. Pour cela plusieurs développements « passerelles » entre les outils ont été établis.

La Figure 4.1 permet de diviser les différentes étapes que les entreprises doivent franchir jusqu'à atteindre un niveau de BIM qui peut permettre d'exploiter tous les avantages de la maquette. L'évolution de la maquette numérique est directement liée à l'évolution de la collaboration entre les intervenants. Ces niveaux seront expliqués dans les paragraphes suivants.

## 4.2. LA STRATEGIE POUR IMPLEMENTER LE BIM DANS L'ENTREPRISE

La filiale francilienne Bouygues Bâtiment Ile-de-France Habitat Social, a adopté le BIM depuis 2011, l'année où Bouygues Construction et Autodesk ont fait un partenariat. Ce partenariat a permis à la filiale de travailler avec les logiciels édités par Autodesk, et d'utiliser le logiciel *Revit* pour modéliser et servir de base pour appliquer la méthodologie BIM.

La stratégie d'adoption du BIM dans la direction d'ingénierie de projet est basée sur trois axes :

- Tester et maîtriser la technologie BIM;
- Créer un référentiel unique dès la conception à l'entretien ;
- Être un des acteurs principaux dans les débats actuels du Groupe.

L'adoption des technologies BIM, est en phase avec la stratégie de l'entreprise concernant sa relation avec ses clients. Cette filiale se distingue de ses concurrents par la qualité des variantes qu'elle propose, car l'entreprise se positionne à la pointe de l'innovation sur tous les niveaux ; développement des matériaux, utilisation de la maquette numérique, systèmes de sécurité entre autres.

La maquette numérique a permis à l'entreprise de se rapprocher plus du client, permettant d'avoir très tôt un rendu final du bâtiment et d'obtenir instantanément l'impact économique, environnemental et esthétique des variantes proposées.

L'utilisation de cette technologie permet à tous les clients, même ceux qui ne sont pas dans le métier, d'accompagner l'évolution du chantier. En sus des besoins du client direct, l'entreprise prend en compte de façon croissante les usages de l'utilisateur final.

L'entreprise, s'est engagé vers des processus BIM depuis quelque temps, ce qui lui permet d'implémenter une stratégie structurée à long terme. Les objectifs de l'entreprise passent principalement par l'utilisation de la maquette numérique vers une conception plus collaborative.

La démarche faite par l'entreprise pour implémenter le BIM s'appuie sur 4 axes ; concevoir, étudier, préparer et réaliser. Le premier axe de travail est d'optimiser la phase de conception, le deuxième vise l'étude de nouveaux outils et les passerelles entre eux, pour plus d'automatisation et plus de productivité pendant les phases d'études du projet, le deux dernier axes ciblent les phases aval du projet étudiant comment la maquette peut être explorée pendant cette phase, les axes de travail sont principalement constitués par [28].

L'implémentation d'une démarche de cette envergure est délicate, il est nécessaire de prévoir le futur sans oublier le présent, le changement doit être fait sans une rupture brusque des processus de travail. L'évolution de la maquette numérique au sein de l'entreprise est remarquable, il est possible d'observer ci-dessous l'avancement de ces deux dernières années.

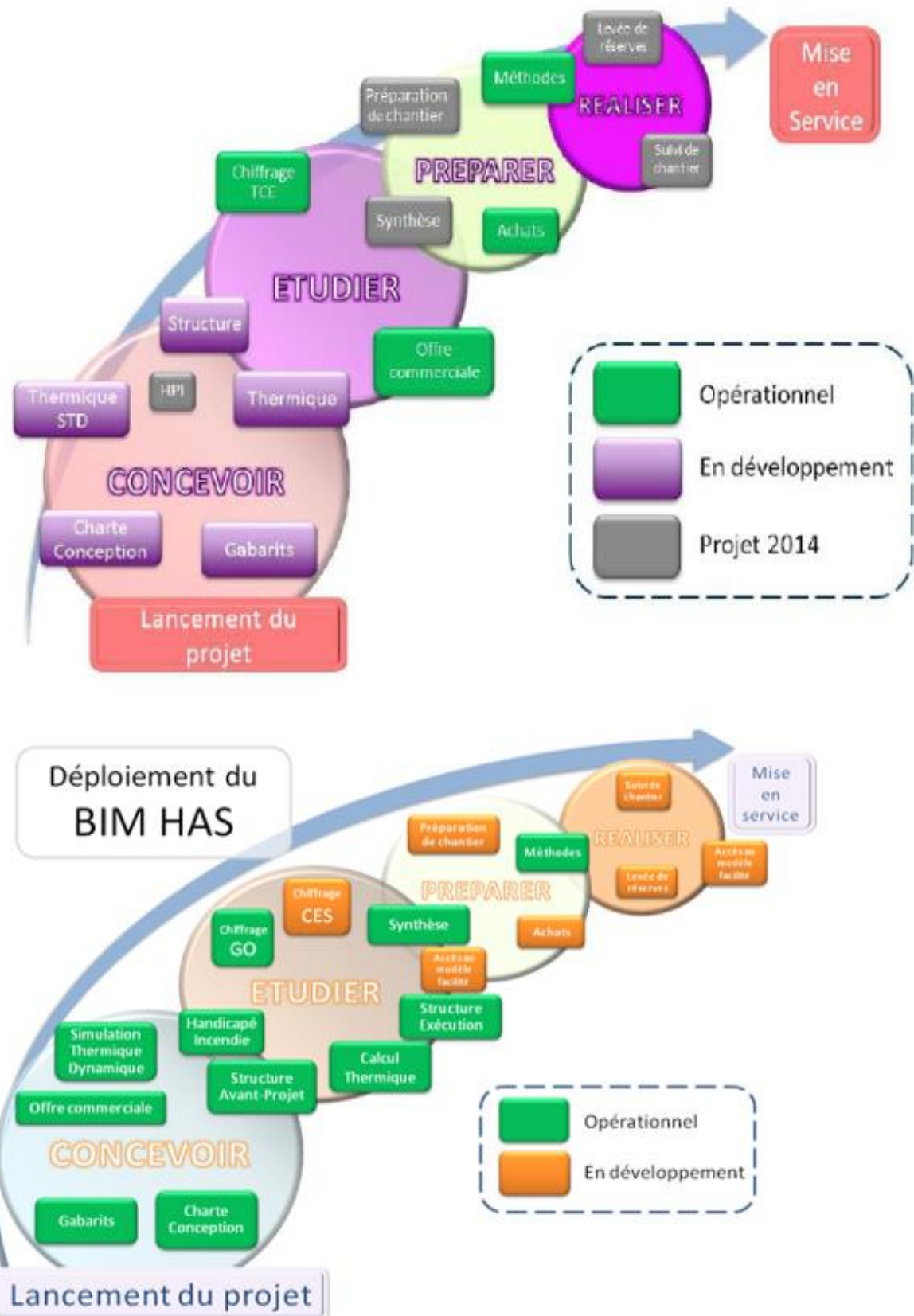


Figure 4.2 – Avancement du BIM dans l'entreprise [28]

### 4.3 LE DEBUT DE L'UTILISATION DU BIM DANS L'ENTREPRISE

#### 4.3.1 REVIT

Le Revit est le logiciel BIM de base pour la plus part des travaux réalisés dans l'entreprise, c'est l'un des outils BIM plus connue dans le secteur du BTP, il bénéficie de la supériorité qu'Autodesk à acquise dans le marché des logiciels d'aides de conception au sein de ce secteur.

Initialement ce Logiciel a été conçu pour les Architectes mais les dernières versions, notamment après son rachat par Autodesk, présente aussi des solutions viables pour les ingénieurs, les maîtres d'œuvres et les constructeurs : il possède des fonctionnalités qui satisfont la réalisation de l'architecture, de l'ingénierie structure, de l'ingénierie MEP (*Mechanical, Electricity et Plumbing*) et de la construction. Cet outil est vu aujourd'hui comme un outil puissant permettant de centraliser toutes les données du bâtiment dans un seul fichier et aussi d'échanger ses données avec d'autre logiciels BIM (de marque Autodesk ou non).

Les projets réalisés avec *Revit* sont construits en utilisant une grande variété de familles qui s'assemblent entre elles par de nombreuses relations et contraintes entre les différents éléments. Chaque famille possède des paramètres qui permettent au logiciel de gérer et vérifier l'ensemble des relations tout en leur associant une représentation graphique. Donc avec ce logiciel la maquette peut être définie comme un conglomerat d'éléments avec des informations associées à une représentation graphique et à une géolocalisation.

Le logiciel se penche depuis quelques années pour optimiser le travail collaboratif, ses dernières versions fournissent des solutions qui permettent de travailler en collaboration. Ce point sera analysé et approfondi dans le sous-chapitre 4.5.2.

#### 4.3.2 DEVELOPPEMENT DE LA MAQUETTE NUMERIQUE

En 2011, l'entreprise a réalisé sa première maquette utilisant le Revit, cette maquette a été réalisée par le service des méthodes afin d'observer les modes opératoires plus intuitivement. L'année suivante le chiffrage du gros-œuvre d'une affaire a été réalisé en s'appuyant sur la maquette. C'est en 2014 que la maquette a été utilisée tout au long du projet, soit dès la phase d'études jusqu'à la phase d'exécution.

Le début de la maquette numérique au sein de l'unité opérationnelle a été fait en adoptant les techniques du BIM isolé, il est considéré comme l'initiation au BIM donc chaque utilisateur travaille dans son coin et augmente uniquement sa productivité. Le partage d'informations entre les collaborateurs est rare et pas structuré. Pendant cette phase les échanges de données sont souvent faits de façon manuelle (export/import).

L'utilisation courante et la personnalisation de la maquette s'est fait avec la création de gabarits. Un gabarit est simplement le modèle ou la mise en forme du logiciel qui apparait lors de la création d'un nouveau projet. Le logiciel propose 4 types de gabarits de base, le gabarit de construction, le gabarit architectural, le gabarit de structure, le gabarit mécanique. La création d'un gabarit personnalisé est alors essentiel pour optimiser la productivité des métiers. Un gabarit personnalisé contient toute l'information de base nécessaire pour démarrer un nouveau projet sans avoir à ressaisir les mêmes informations à chaque début d'un nouveau projet.

Le gabarit d'Études de Prix permet d'optimiser l'utilisation du logiciel Revit pour la modélisation et pour l'extraction des données, principalement des quantités, commentaires et erreurs des projets. La



personnalisation du gabarit permet de diminuer la durée de la modélisation et de l'extraction de données car tout est prédéfini dans le gabarit. La création du gabarit est faite grâce à la mise en place:

- Des paramètres;
- Des gabarits de vue;
- Des familles;
- D'une arborescence;
- Des nomenclatures.

#### 4.3.2.1. PARAMETRES

Un projet est constitué par un grand nombre de paramètres qui lui permet de contrôler ainsi tous les éléments de la maquette, il existe deux types de paramètre dans un projet ; les paramètres de projet et les paramètres partagé. Les paramètres de projet sont utilisés dans des cas particulier qui ne figurent pas assez dans d'autres projets pour être créés comme paramètre partagés, évitant ainsi de surcharger le fichier des paramètres partagés. Ce type de paramètre est limité car il ne peut pas être utilisé pour la création de famille externe, il intervient uniquement sur le projet.

Les paramètres partagés sont des paramètres qui sont rangés dans un fichier indépendant et peut être utilisé sur tous les projets et les familles, ce qui est important pour automatiser et homogénéiser le travail sur la maquette. L'image ci-dessous permet de visualiser l'interface qui apparait lors de la création ou insertion d'un paramètre.

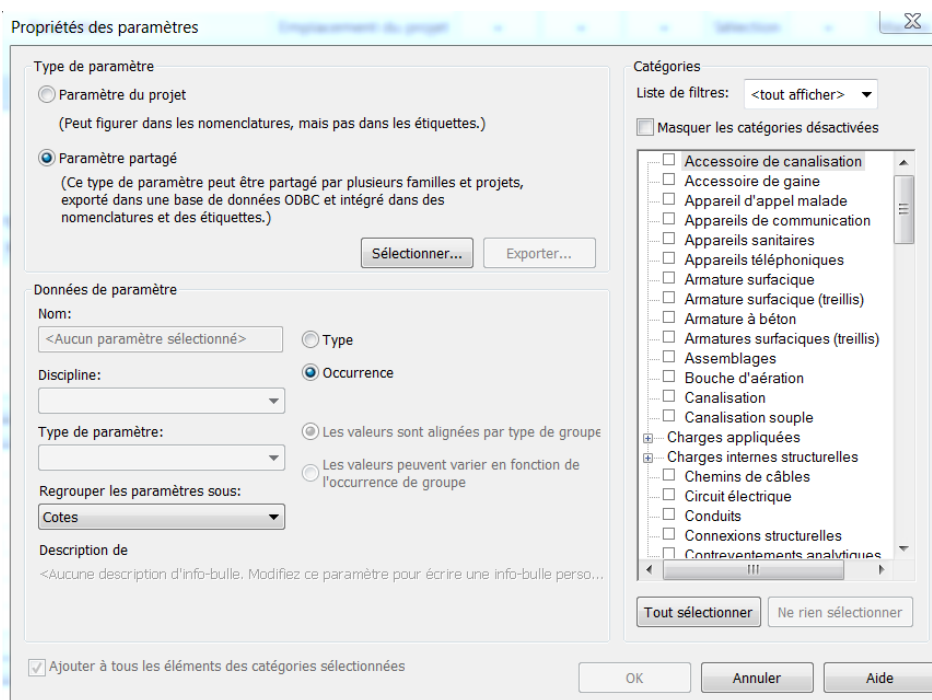


Figure 4.3 – L'interface pour créer ou ajouter des paramètres

Tous les paramètres doivent avoir un nom qui les identifie et doivent être associés à une ou plusieurs disciplines. Le choix du type de paramètre permet de préciser le type de donnée qu'aura le paramètre. Dans cet onglet il est possible de déterminer si le paramètre créé est un paramètre de texte, un paramètre de « oui/non », un paramètre qui servira pour des calculs de somme ou mesure, entre autre.

Selon le type de paramètre choisi le logiciel le regroupe, mais cet ordre de rangement peut être modifié manuellement.

Les éléments ont des propriétés de deux niveaux, l'occurrence du type ou le type de l'élément. Les paramètres d'occurrence sont généralement choisis quand le paramètre créé agit sur des spécificités d'un élément ou d'un modèle sans influencer tous les éléments du projet du même type. Soit un paramètre d'occurrence peut avoir de différentes valeurs pour un même type. Les paramètres de type sont souvent choisis pour décomposer une famille en plusieurs types, généralement cette décomposition est affectée uniquement par une modification géométrique ou de style.

Si un collaborateur fait appel à un paramètre partagé toutes ces données du paramètre sont déjà insérées. Pour insérer le paramètre dans le projet, les intervenants du projet associent le paramètre aux catégories qu'ils souhaitent insérer ce dernier.

#### 4.3.2.2. GABARITS DE VUE

Les gabarits de vue sont très importants pour personnaliser la visualisation de la maquette, mettre en évidence ce que chaque collaborateur souhaite et éditer tous les détails de la vue. Les gabarits de vue sont filtrés par discipline et type de vue ce qui permet d'affecter chaque gabarit de vue à un métier et à un type de vue. La personnalisation du gabarit de vue permet principalement de déterminer le niveau de détail du rendu, de masquer les éléments inutiles pour la réalisation de la tâche, d'éditer le motif des éléments en projection et en surface, de masquer ou non les fichiers importés et de créer des filtres. La possibilité de créer des filtres permet d'assembler plusieurs éléments qui ont au moins un paramètre en commun afin de les distinguer par une coulée ou un motif. Par exemple un ingénieur d'étude de prix peut créer un filtre qui lui permet de vérifier si c'est un sol préfabriqué ou un sol traditionnel par une forme intuitive. Pour cela il suffit de créer un paramètre du type oui/non appelé par exemple "préfabrication" et de l'associer à la catégorie des sols. Ensuite il est créé deux filtres qui sont associés à la catégorie des sols et au paramètre "préfabrication". Le filtre qui permet d'identifier le sol préfabriqué sera du type "égal" à "préfabrication" et l'autre sera du type "n'est pas égal" à "préfabrication".

#### 4.3.2.3. FAMILLES

Dans le logiciel il existe plusieurs types de familles, les familles systèmes, les familles in situ et les familles externes. La création de famille est importante pour les processus BIM, les collaborateurs d'études de prix responsable pour le développement de la maquette numérique doivent assurer que les familles créés sont compatibles avec les autres métiers.

Dans les cas des familles système, les familles de base du logiciel, ces familles sont déjà créées mais il est nécessaire d'ajouter des paramètres pour optimiser l'usage du logiciel. La personnalisation est faite directement en utilisant les paramètres de projet, les éléments de la maquette doivent contenir plusieurs paramètres pour satisfaire les besoins des différents métiers. Par exemple un voile de béton doit avoir un paramètre qui identifie l'élément pour pouvoir les classer dans les nomenclatures et postérieurement le chiffrer, elle doit avoir aussi un paramètre qui permet de renseigner quel est le mode opératoire de ce mur. Ce paramètre est utile aux méthodes et aux études de prix pour pouvoir chiffrer et pour faire le planning du chantier. Les collaborateurs responsables des études thermiques et acoustique ont besoin de paramètres qui leur fournissent les valeurs nécessaires pour réaliser leurs études, comme par exemple le coefficient de transfert de chaleur, la résistance thermique, le coefficient d'absorption...

Les familles externes sont créées à partir des paramètres partagés et aux paramètres de famille, ces derniers interviennent uniquement dans la famille où il a été inséré. Pour la création des familles externes le logiciel fournit plusieurs fichiers base pour faciliter la création de ces familles.

#### 4.3.2.4. ARBORESCENCE ET NOMENCLATURES

La définition de l'arborescence est importante car elle permet d'une part de personnaliser l'interface avec les désignations propres de l'entreprise et d'une autre part optimiser le travail sur le logiciel. Le logiciel permet d'organiser les vues et les feuilles afin que l'utilisateur ait accès uniquement à l'information désirée. Cela permet de diminuer significativement les pertes de temps pour chercher les bonnes informations

Les nomenclatures sont des tableaux identiques à des feuilles de calculs, qui permettent de répertorier les occurrences de chaque paramètre inséré. Les paramètres insérés dans les tableaux correspondent aux titres de ces tableaux et les lignes correspondent aux occurrences de ces paramètres. Le logiciel *Revit* possède des fonctionnalités qui permettent aux collaborateurs de personnaliser les tableaux comme par exemple :

- Filtre, permet de filtrer les paramètres ajoutés au tableau afin d'éliminer toutes les occurrences qui ne sont pas nécessaires ;
- Tri/Regroupement, permet d'organiser le tableau en le triant par paramètres, permet de choisir si les collaborateurs veulent ou non détailler chaque occurrence et permet d'insérer une ligne avec les titres des occurrences, les nombres et les totaux ;
- Mise en forme, permet de personnaliser la mise en forme du tableau en masquant certains paramètres pour une visualisation plus claire du tableau, définissant l'orientation de l'en-tête et de l'alignement, permettant aussi de calculer les totaux des paramètres, entre autres.

L'une des grandes potentialités des logiciels BIM est la possibilité d'échanger et utiliser les informations en provenance d'autres logiciels. Le logiciel *Revit* permet de modéliser le projet en 3D, de créer une base de données organisée dans des vues tabulaires. Cette base de données est automatiquement actualisée à chaque modification du projet. Ces vues tabulaires sont des nomenclatures, elles permettent d'extraire automatiquement les informations du projet d'une forme structurée et personnalisée.

Les collaborateurs d'études de prix ont créé de nombreuses nomenclatures pour pouvoir exporter les informations et quantités du projet sur un fichier Excel. Pour extraire les données d'un projet d'une forme structurée la cellule EDP a organisé les nomenclatures dans leur gabarit par catégorie.

Une fois que les nomenclatures sont insérées dans le gabarit toutes les données du projet sont rangées sous forme de tableau prêt à être exporté. Pour exporter les données du projet, le logiciel permet de créer des nomenclatures et cela a entraîné l'entreprise a créé une macro qui permet d'exporter automatiquement les tableaux vers un fichier Excel appelé « Compil ». La figure ci-dessous permet de montrer le cheminement des valeurs exportées du logiciel vers les outils internes de l'entreprise.

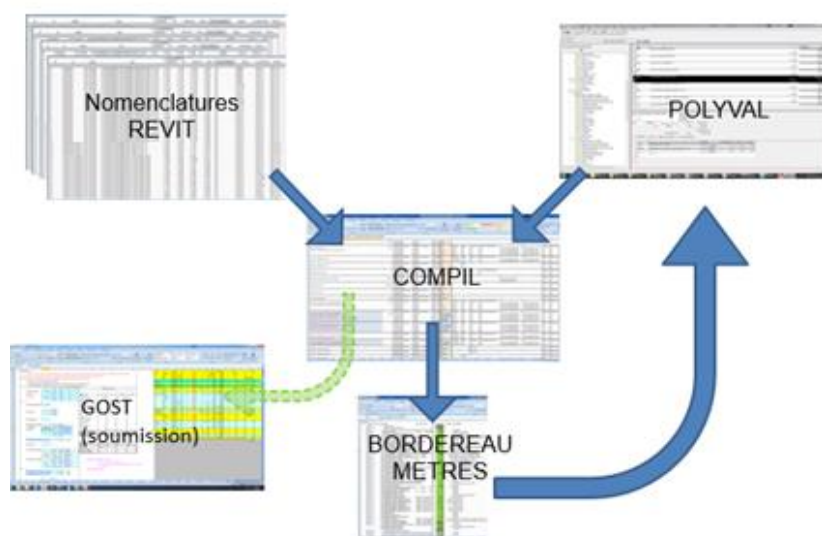


Figure 4.4 – Échanges d'informations au long d'un projet [28]

Le principal inconvénient de l'automatisation est d'assurer le correct remplissage des données car les collaborateurs ont moins de contrôle sur les valeurs que s'ils ne l'avaient fait manuellement. Par exemple, tous les éléments insérés dans la maquette doivent avoir le paramètre « NIVEAU » qui est responsable pour le découpage de la maquette et donc pour le chiffrage du projet. L'extraction automatique des métrés a permis à l'entreprise d'obtenir une plus grande fiabilité des valeurs, une plus grande productivité et aussi la possibilité de réaliser les métrés totalement en interne. L'entreprise a fait une étude (Tableau 4.1) pour analyser si l'utilisation de la maquette numérique pour la réalisation des métrés est bénéfique par rapport au processus traditionnel.

Tableau 4.1 – Comparaisons Métreur/Maquette [28]

	Métreur extérieur	Revit	Gain
Durée / Coût	15 jours / 11 k€	13 jours / 9 k€	2 jours / 2 k€
Avantages	Expérience du métré	Variante métrées rapidement	Gain travaux
	Synthèse technique externalisée	Synthèse technique en interne	Expertise interne
	Stockage unique des plans coloriés	Support partagé dématérialisé	Gain frais généraux
Inconvénients	Qualité en baisse	Exigence en compétences	Professionnalisation
	Durée pas toujours maîtrisée	Faire de trop ou pas assez	Transfert plus court
	Prix élevé	Coût matériel	Gain frais généraux

La réalisation des métrées en interne comporte des avantages économiques et techniques, non seulement les métrés et les synthèses sont fait avec plus de détails comme à terme les ingénieurs acquièrent plus de compétence et plus de sensibilité des valeurs. Ceci est dû aussi au fait que la maturité de la maquette est encore à un niveau initial.

#### 4.4. LES DOCUMENTS PRODUITS AVEC LA MAQUETTE NUMERIQUE

##### 4.4.1. ETUDES DE PRIX (EDP) ET BUREAU D'ETUDES AVANT-PROJET (BE AP)

La cellule études de prix fut l'une des premières à adopter la maquette numérique. Avec l'utilisation des outils BIM les études de prix sont plus automatisées et plus précises. Pendant la modélisation il y a une perte de temps compensée par l'extraction automatique des métrés.

La première phase pour l'étude de prix utilisant la maquette est de nettoyer les fichiers 2D reçus par les architectes qui modélisent encore sur les logiciels de CAO 2D, ensuite les collaborateurs modélisent les éléments verticaux. Ensuite ils modélisent les éléments horizontaux et une fois le bâtiment créé, l'extraction des quantités est possible. La modélisation doit être rigoureuse car la précision des quantités exportées contribue directement à la qualité de la modélisation. L'adoption de la maquette contribue à augmenter le travail d'équipe.

Les Ingénieurs de structures calculent la descente de charge et les ratios d'aciers en utilisant les plans AutoCAD. L'utilisation d'un logiciel BIM pendant cette phase ne s'est toujours pas montrée bénéfique, cependant les collaborateurs travaillent pour adapter un logiciel afin de pouvoir augmenter leur productivité. Il faudra attendre l'évolution des formats d'échanges comme les IFC ou IFD par exemple pour que l'utilisation d'un outil BIM se généralise pendant cette phase. Suivant les résultats obtenus les collaborateurs modifient la maquette et mettent à jour les ratios d'aciers. Les points pouvant être modifiés sont :

- Ajout ou suppression des éléments porteurs ;
- Adaptation de l'épaisseur des voiles ;
- Modélisation des poteaux ;
- Modélisation des poutres ;
- Modélisation des semelles et éventuellement des pieux.

Une fois le projet vérifié les données sont prêtes à être exportées, les ingénieurs d'études de prix et de structures font le bouclage des avant projets. Les ingénieurs EDP font le bouclage des éléments modifiés ou ajoutés par l'ingénieur de structure directement à partir de la maquette numérique.

Les collaborateurs des deux métiers ont travaillé dans le but d'adapter un métier à l'autre pour augmenter la fluidité d'information, diminuer les ressaisies entre les deux métiers (Figure 4.5).

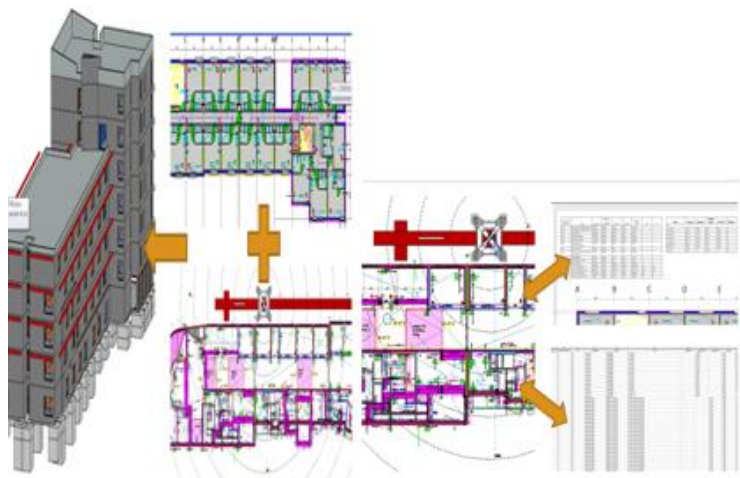


Figure 4.5 – Utilisation de la maquette pour les deux cellules (EDP et BEap) [28]

L'optimisation entre les métiers s'est fait avec l'intégration des gabarits de vue du BE dans le gabarit EDP, les adaptations des paramètres des familles au BE, la création de nomenclatures pour faciliter l'extraction des données et des ajustements ponctuels sur la modélisation des éléments.

#### 4.4.2. ACOUSTIQUE ET THERMIQUE

La maquette est aussi exploitable par la cellule acoustique et thermique qui utilise maintenant la maquette dans la majorité des projets. Elle permet de réaliser les études thermiques sans remodeliser le bâtiment permettant d'augmenter la productivité de leur métier. Grâce au format IFC l'exportation de la maquette fournit par EDP vers l'outil BIM *Archiwizard* est possible, ce logiciel permet de simuler les performances énergétiques et de réaliser des bilans selon la réglementation RT2012. Cependant l'interopérabilité entre ces deux logiciels n'est pas totalement assurée, il existe un nombre d'informations nécessaires aux calculs qui ne sont pas reconnues par le logiciel *Archiwizard*. Il faut ainsi ressaisir certaines informations : par exemple pour un voile de béton modélisé sur *Revit*, le logiciel STD reconnaît l'épaisseur du voile mais ne reconnaît pas qu'il est en béton.

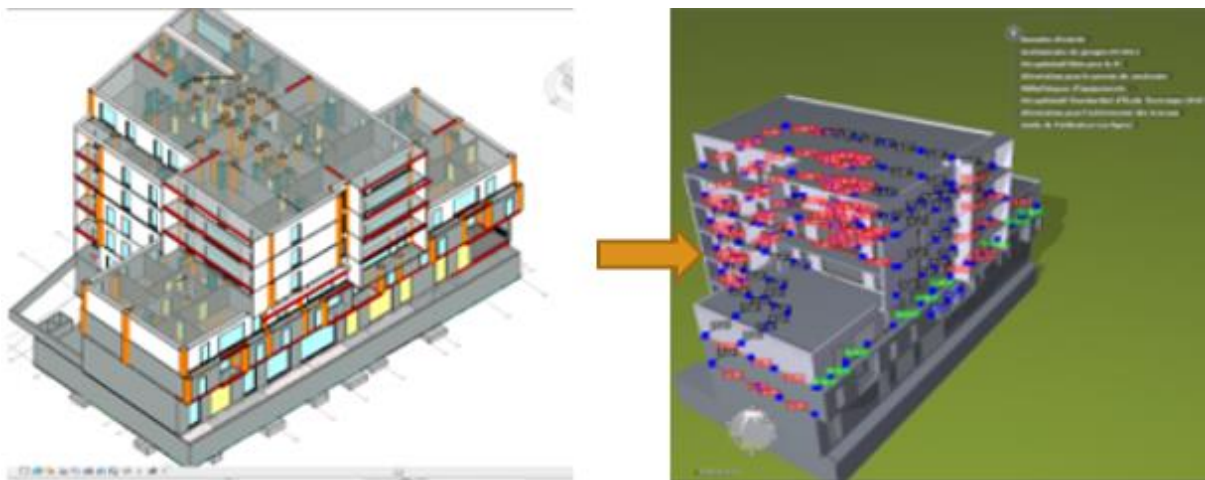


Figure 4.6 – La maquette pour la cellule Acoustique et Thermique [28]

Ce logiciel BIM permet d'enregistrer des modèles d'isolations et de systèmes préétablis pouvant faire une étude plus rapide grâce à l'automatisation des processus, cet outil est intéressant car il couvre 4 usages importants pour la réalisation des tâches :

- Métrés thermiques ;
- Calcul RT (réglementation thermique) ;
- Calcul des déperditions ;
- Calcul de simulation thermique dynamique.

#### 4.4.3. METHODES

L'avènement de la maquette numérique a permis d'obtenir des PIC en 3D, permettant ainsi d'améliorer la visualisation de l'impact de nombreux éléments et ainsi d'optimiser la communication entre les intervenants (Figure 4.7). Le PIC 3D est principalement important pour les affaires réalisées dans les zones plus proches du centre de la capitale, où il y a plus de risque d'avoir des contretemps dus au voisinage ou aux transports publics par exemple. Avec l'utilisation de la maquette numérique



l'entreprise fournit une vision globale et réaliste de l'impact du bâtiment dans l'environnement pouvant ainsi contourner plusieurs problèmes.

La visualisation en 3D permet d'une part à la cellule d'étude de prix de mieux visualiser l'impact de chaque élément à implanter dans le chantier et d'autre part d'aider les équipes de travaux à implémenter tous les éléments qui sont insérés dans le PIC en vérifiant ainsi plus facilement le respect des distances réglementaires de tous les éléments.

Le PIC 3D permet aussi de valoriser l'entreprise pour les appels d'offres, généralement les clients donnent de l'importance à ce genre de démarches car cela leur donne une vision plus réaliste et montre le savoir-faire et la démarche de l'entreprise vers des processus innovants.

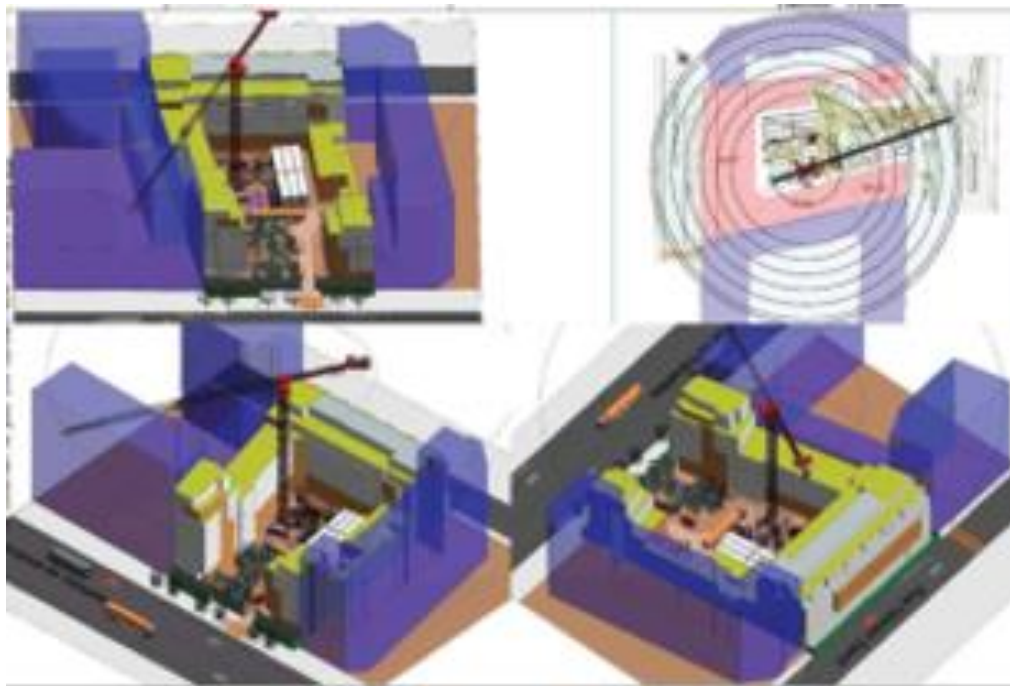


Figure 4.7 – Exemple de PIC 3D [28]

L'utilisation de la maquette numérique ne s'arrête pas là, il peut arriver que la cellule de méthodes soit sollicitée pour réaliser les plans de pré-sécurité et des plans de sécurité en 3D. Grâce à la maquette numérique il est possible d'obtenir un plus grand niveau de détails géométriques et d'information, permettant d'éviter des erreurs d'interprétation des plans et les possibles surcoûts associés. Pour cela l'équipe méthode avec d'autres collaborateurs de plusieurs filiales ont créé des familles Revit pour réaliser ces plans (Figure 4.8).

Les plans de sécurité sont réalisés en 3D utilisant une application informatique développée en interne appelé MicroSécu3D, cette application permet aux collaborateurs de développer les deux types de consoles plus utilisées par l'entreprise, la console de sécurité P3D et PRM (Figure 4.9).

Une fois l'application installée sur Revit elle importe les deux types de consoles plus utilisées par l'entreprise. Le logiciel sauvegarde toutes les familles de consoles créées tout au long des projets, cela permet tout au long des projets de réutiliser ces consoles déjà faites et par conséquent de produire les plans de sécurité plus vite.

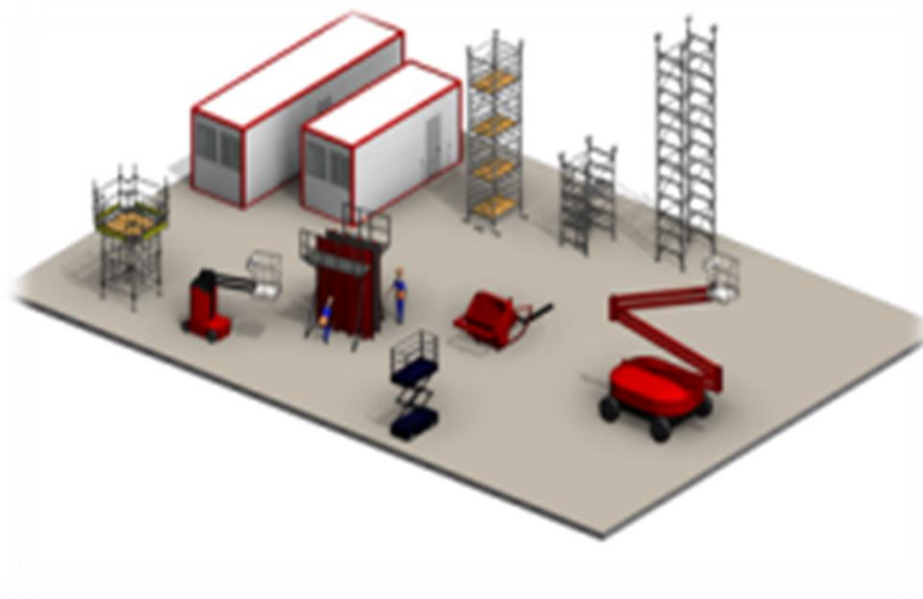


Figure 4.8 – Famille Revit en 3D [28]

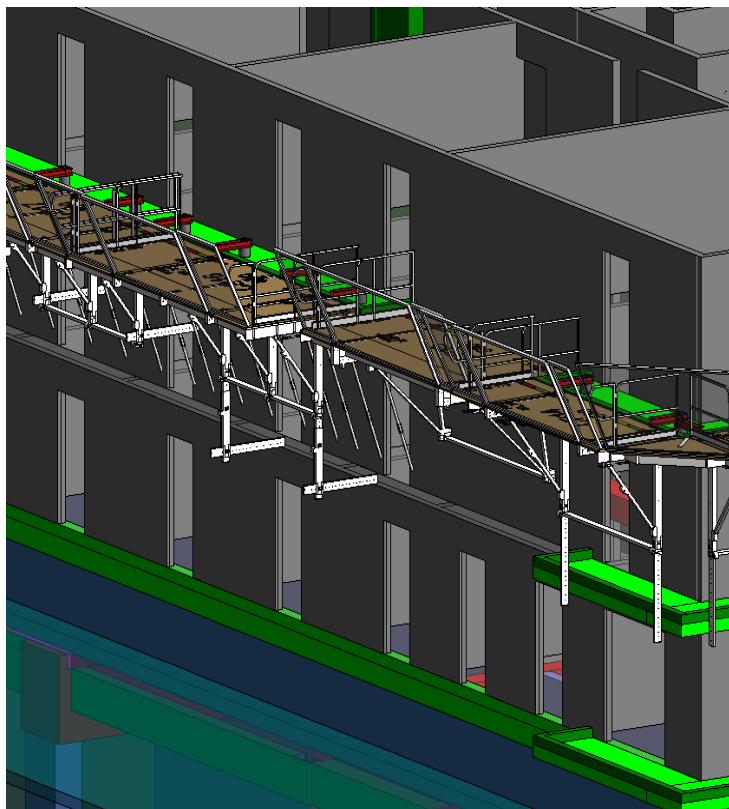


Figure 4.9 – Exemple de famille d'échafaudage en 3D [28]

Le logiciel Revit permet aussi à la cellule méthode de réaliser le plan de cycle avec la fonctionnalité des filtres, comme le montre la Figure 4.10. Cet outil BIM permet de créer des filtres qui ont une couleur et une journée de coulage associée par un paramètre, par exemple pour créer le filtre qui représente le premier jour de coulage, il suffit de sélectionner les catégories qui vont être bétonnées,



ensuite il faut l'associer à un paramètre d'occurrence qu'ils ont en commun et pour les différencier il suffit d'ajouter le numéro du jour de coulage sur le filtre et sur les éléments.

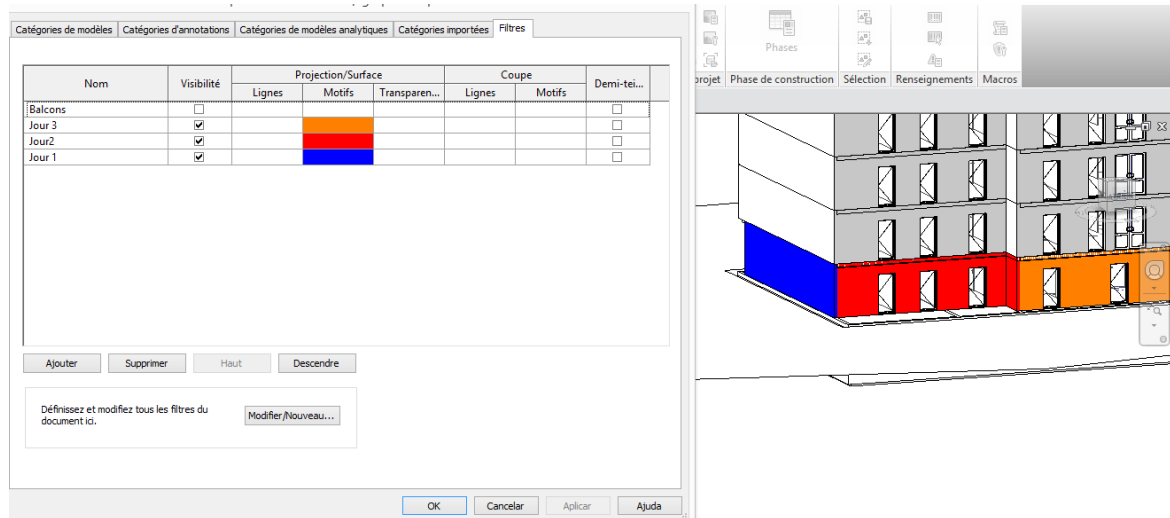


Figure 4.10 – Exemple de filtre pour réaliser le plan de cycle

La visualisation en 3D permet d'obtenir une vue plus claire du phasage du projet et avec plus de rapidité, avec le logiciel 2D Autocad, les ingénieurs devaient faire cette distinction à partir des calques, ce qui leur prenait plus de temps.

Les Méthodes comme il a déjà été vu sont responsables pour planifier la totalité de l'ouvrage, cette planification est faite en s'appuyant sur les quantités des gros-œuvres extraite de la maquette et utilisant le Microsoft Project, le passage de la maquette vers le diagramme de Gantt est fait manuellement. Certains acteurs du BIM associent le BIM 4D à l'automatisation de la construction du diagramme de Gantt, cela pourra se réaliser dans un futur proche comme il sera vu postérieurement dans le travail.

Ce service utilise aussi la maquette pour analyser la structure en distinguant les différents modes opératoires, les poids des objets préfabriqués pour vérifier si la grue supporte ou non le poids et principalement pour l'exportation des nomenclatures.

Les Méthodes ont ainsi obtenu des bénéfices utilisant la maquette numérique, actuellement il y a encore des collaborateurs mobilisés pour l'adaptation de la maquette au métier, comme la création de famille, mais dans un futur proche la maquette rapportera des revenus en temps et qualité important.

#### 4.4.4. BUREAU D'ETUDE EN PHASE D'EXECUTION

Le bureau d'étude structure en phase d'exécution travaille aussi avec la maquette numérique, comme il a déjà été vu le bureau est responsable pour la réalisation du plan de coffrage et de la décente de charge. Le logiciel Revit n'est pas encore un logiciel parfaitement adapté aux tâches réalisées par cette cellule, mais avec les applications informatiques créées par un groupe de collaborateurs de Bouygues Construction, l'utilisation de la maquette numérique est vue comme un atout car ces applications créées permettent d'automatiser plusieurs pas pendant la réalisation du plan de coffrage comme par exemple les étiquettes et les cotes (Figure 4.11). Une autre plus-value de ce changement de processus de travail est le fait d'obtenir des coupes automatiques et instantanées.

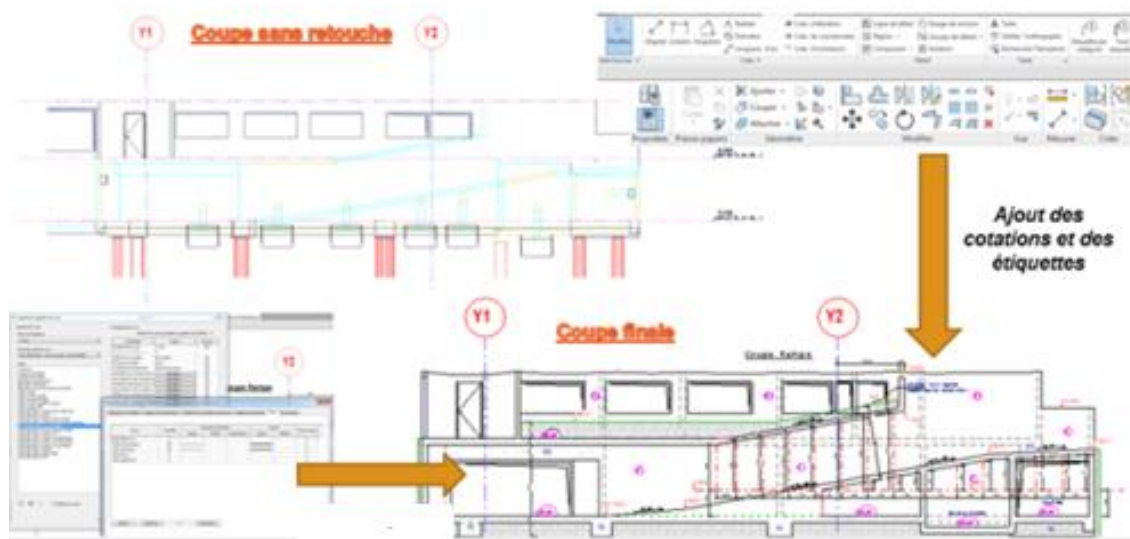


Figure 4.11 – Plan de coffrage

Pour la réalisation de la descente de charge, le BE structure étudie encore quel est le logiciel qui s'adapte le mieux au métier. Le logiciel Arche qui permet de pré-dimensionner la structure et les calculs de descente de charge ont été testés et les résultats obtenus sont favorables, il est vérifié une cohérence des valeurs obtenues avec les méthodes traditionnelles du BE, le temps destiné à la saisie du modèle a diminué mais cette diminution n'est pas linéaire, elle dépend de la complexité du projet, de la qualité qu'a la maquette et de l'expérience de l'ingénieur qui prend l'affaire.

L'utilisation de la maquette a été utilisée sur de nombreuses affaires, les bénéfices augmentent à chaque nouvelle affaire dus principalement à l'adaptation des collaborateurs au nouveau processus. Les difficultés observées sont surtout dues au manque d'interopérabilité entre les logiciels.

#### 4.4.5. CONFORME ET CES

La création de la cellule conforme est surtout due à l'adoption de la maquette numérique par l'entreprise, la principale mission de cette cellule est la production des synthèses d'exécution. La maquette numérique est essentielle pour la réalisation de ces tâches, non seulement elle permet d'optimiser le travail collaboratif, facilitant les échanges d'informations entre les différents métiers, comme elle favorise aussi la productivité des équipes, permettant de faire un chiffrage rapide de tous les éléments. Le logiciel Revit permet de produire des plans plus précis, mettant en évidences les points essentiels du métier (Figure 4.12), et cela plus rapidement.

Pour réduire les incohérences et les réintroductions de données dans la maquette numérique il a été fourni aux collaborateurs internes et externes une charte de modélisation. Cela permet à la direction des achats intégrés d'extraire le nombre d'équipements, mobiliers et matériaux nécessaires pour le chiffrage de façon rapide.

Avec la maîtrise des logiciels BIM, l'entreprise a comme objectif de mettre en place entre le dépôt du permis de construire et le lancement des études de transfert, la validation du logement type. La réalisation d'un logement type implantant très tôt plusieurs détails comme la chaudière individuelle, électroménager, vidéophone, prises électriques, entre beaucoup d'autres détails qui permettent de les intégrer au plus tôt dans les mises au point.

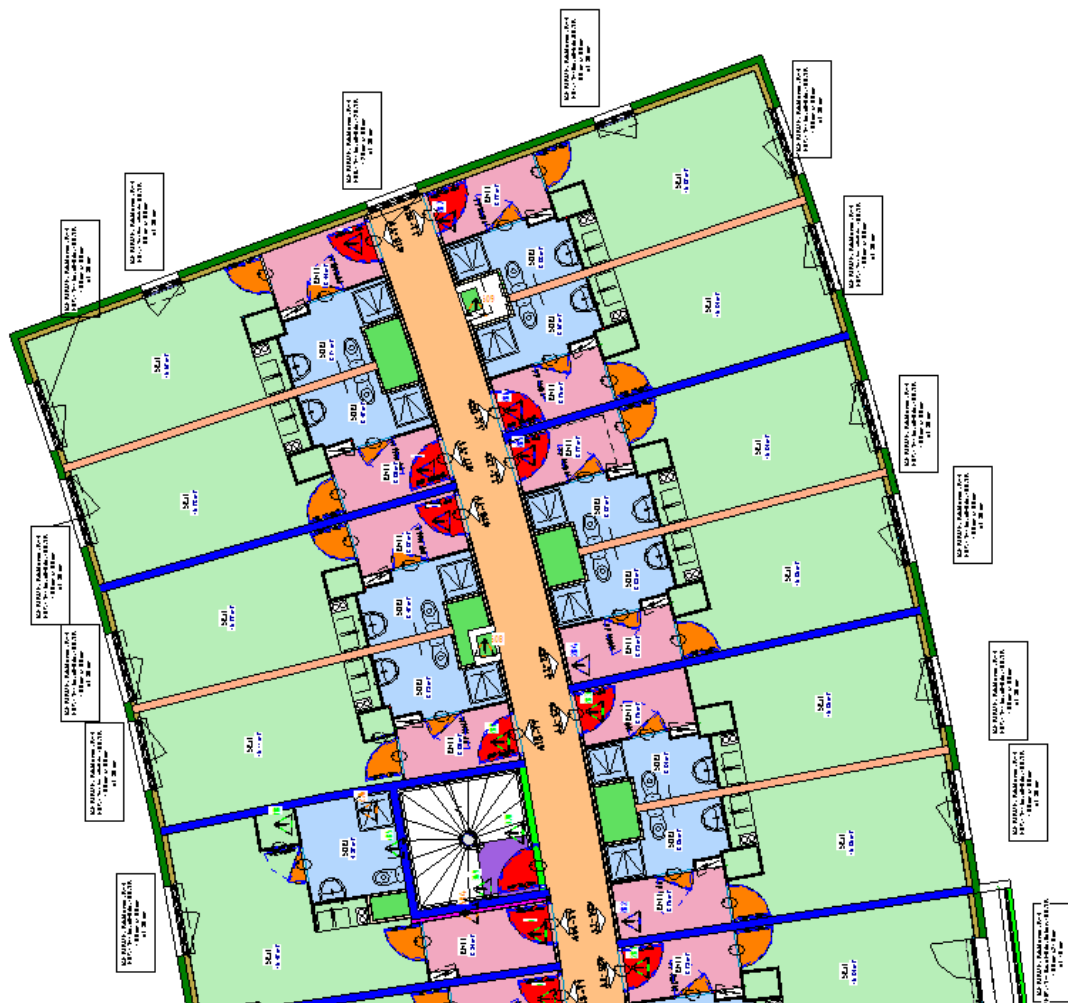


Figure 4.12 – Plan conforme [28]

La cellule de CES aussi bénéficie de l'arrivée de la maquette numérique avec l'extraction des quantités à partir des nomenclatures. Cette cellule est encore dans une phase initiale mais avec la collaboration existante entre toutes les cellules CES, le développement de la maquette sera optimisé.

Il est possible d'observer la présence de la maquette numérique sur quasiment la totalité des cellules. Elle a permis d'améliorer la productivité de chaque métier avec plus d'automatisation et moins de dispersion d'information.

Les premiers résultats de cette première démarche sont encourageants, mêmes si les résultats obtenus dépendent toujours des caractéristiques de l'affaire en moyenne la maquette a permis de gagner près de 3 jours sur une étude de 8 jours

Cette première étape a aussi permis aux collaborateurs d'adapter les outils BIM à la réalisation de leurs métiers et à maîtriser le logiciel par tentative. L'inconvénient de cette méthode de travail est la grande quantité de ressaisies à chaque échange entre les métiers (Figure 4.13).

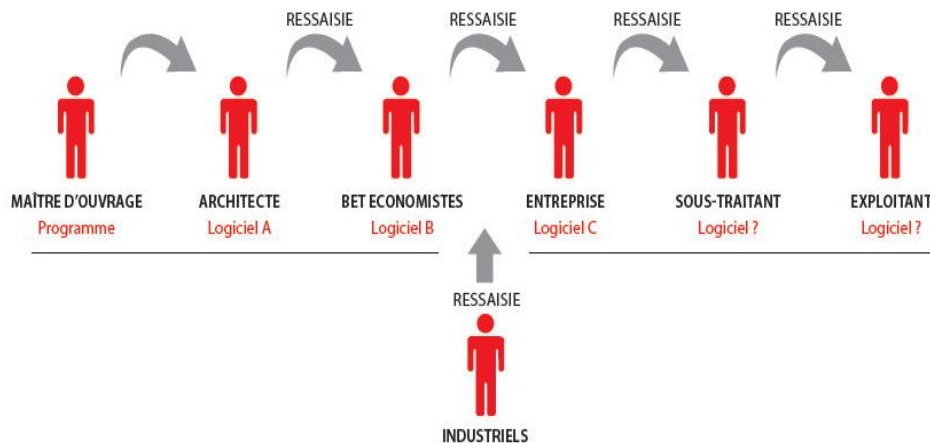


Figure 4.13 – Nombre de ressaisies au long d'un projet [54]

Ce mode BIM n'assure pas une fluidité fiable de l'information et cela est propice à la création d'erreurs dues à la faute de communication entre les intervenants, l'autre inconvénient de cette façon d'utiliser la maquette est la perte de productivité due à la quantité de données qui n'est pas exploitable. Face à ce problème l'entreprise s'est aperçu qu'il fallait réduire le nombre de ressaisies, pour cela l'entreprise a senti la nécessité de créer un gabarit multi-métiers qui soit compatible avec les différents métiers internes et externes.

## 4.5. BIM COLLABORATIF DANS L'ENTREPRISE

### 4.5.1. INTRODUCTION AU BIM COLLABORATIF

La collaboration entre tous les intervenants est l'un des socles des méthodologies BIM. La collaboration entre les intervenants grâce à l'exploitation des outils BIM a provoqué un changement qui suscite une rupture avec les processus traditionnels dorénavant les processus de travail ne sont plus séquentiels. Le BIM collaboratif s'appuie essentiellement sur les modèles d'échanges de données systématisés et standardisés.

Actuellement les affaires faites sont majoritairement du type appels d'offres, mais l'un des objectifs de l'entreprise est d'augmenter les projets du type Conception-Construction en renforçant ces partenariats et en investissant sur l'achat de terrain. Avec l'augmentation des types d'affaires de conception-construction la collaboration entre les différentes équipes des entreprises étendues gagne un rôle majeur.

La base du BIM collaboratif ou le BIM niveau 2 est de travailler sur un fichier unique commun à tous les intervenants. Recourant à un fichier central il est possible d'intégrer dès le démarrage du projet l'ensemble des services pour développer de façon concourante les composants et les sous-systèmes.

Tout cela est fait en les coordonnant dès une phase amont et prendre les décisions nécessaires à une optimisation globale du projet, décisions qui sont ainsi validées par tous les acteurs, depuis la conception jusqu'à la maintenance et l'exploitation. La collaboration est le principal motif pour la modification de la courbe de MacLeamy (Figure 4.14)

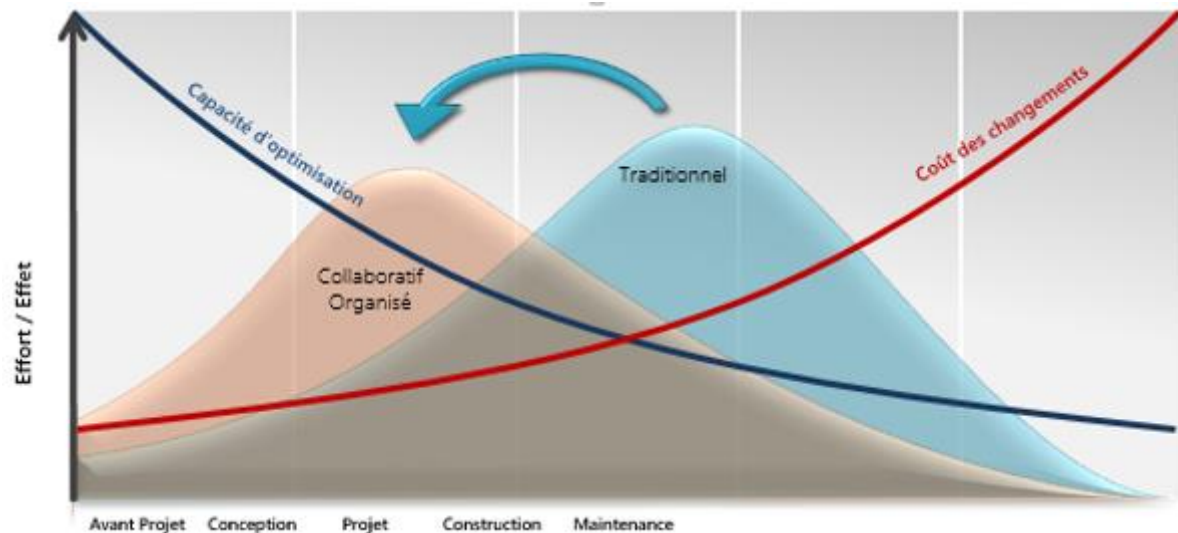


Figure 4.14 – Courbe MacLeamy avec le BIM – version Bouygues HAS

Mobiliser les acteurs pendant une phase amont du projet est essentiel pour analyser le projet, anticiper et détecter très tôt les risques potentiels de conflits diminuant considérablement le temps et les coûts pour résoudre les problèmes du projet. La compréhension globale du projet par tous les intervenants permet de détecter les problèmes plus facilement et la discussion sur les interférences plus évidentes permet aux collaborateurs d'aborder le projet sous une vision plus précise, chacun n'aura plus une simple vision de son métier mais la vision complète du projet.

Un des bénéfices que le BIM collaboratif apporte est l'élimination des échanges d'informations manuelles entre les différents métiers, tous les intervenants du projet transfèrent leurs fichiers sur un fichier central. Les entreprises du secteur du BTP ont tendance à échanger les données d'une façon mal-structurée et d'avoir souvent plusieurs versions d'un même projet, cela arrive par exemple si un collaborateur du service des méthodes modifie le projet et ne le signale qu'aux collaborateurs d'étude de prix ; les collaborateurs du bureau d'études travailleront sur un projet obsolète et devront refaire à nouveaux les études.

Cette perte de productivité est aussi due au manque de standardisation que ce secteur connaît depuis de nombreuses années et au fait que les outils informatiques sont créés à partir de format isolé. Le BIM permet d'améliorer les méthodes de travail, créant des processus de travail qui favorise la collaboration entre les acteurs, la qualité de l'information produite et l'amélioration de productivité amenant une valeur ajoutée au secteur du BTP.

#### 4.5.2 APPLICATION DU TRAVAIL COLLABORATIF DANS L'ENTREPRISE

L'entreprise a réalisé de nombreux projets en mode collaboratif dans le but d'augmenter sa productivité en diminuant les erreurs de projet dues au manque de fluidification de l'information, pour cela elle met en avant la création d'une maquette évolutive, ou multi-phase. Le travail collaboratif permet de diminuer aussi la quantité de dispersion géographique de l'information et d'augmenter la qualité des projets en capitalisant les connaissances collectives sur le même modèle.

La stratégie pour la réalisation des projets passe pour déléguer un organisateur qui établit un plan d'exécution BIM, ce plan définit en amont qu'elle est la stratégie pour réaliser ce projet en adoptant des méthodologies BIM, gérant les entrées de données et les revues. L'organisateur doit aussi

contrôler la qualité de la modélisation de la maquette faite par les architectes, en cas de problèmes il la corrige ou la fait corriger. Une fois la maquette corrigée l'équipe d'ingénieurs analyse pendant près de 4 jours la maquette numérique et apporte ses remarques créant des annotations directement sur la maquette numérique. Les annotations sont distinguées par des couleurs afin de visualiser plus rapidement les annotations de chaque cellule et de son niveau d'importance.

Avant le démarrage des études il est nécessaire de faire la revue des annotations avec la totalité des membres de l'équipe afin de mettre en accord toute l'équipe sur les moyens nécessaires pour réaliser le bâtiment et sur les durées d'études. Tout au long de l'étude d'autres revues du projet sont faites afin de rassembler les différents métiers et que chacun puisse déployer ses questions.

Le logiciel Revit permet depuis quelques années de travailler en collaboration, il permet de créer plusieurs sous-projets affectés à chaque intervenant et cela à partir d'un fichier central. Tous les intervenants du projet peuvent travailler sur le même fichier en même temps. La création des sous-projets doit être faite par l'organisateur qui au démarrage du projet affecte chaque équipe à un sous-projet comme le montre la figure 4.15. Le partage de données se fait au niveau du modèle relationnel et non au niveau de la documentation. Le fichier central centralise toutes les données du projet qui proviennent des différents sous-projets, pour cela il est nécessaire d'avoir un réseau et un système de partage de fichiers.

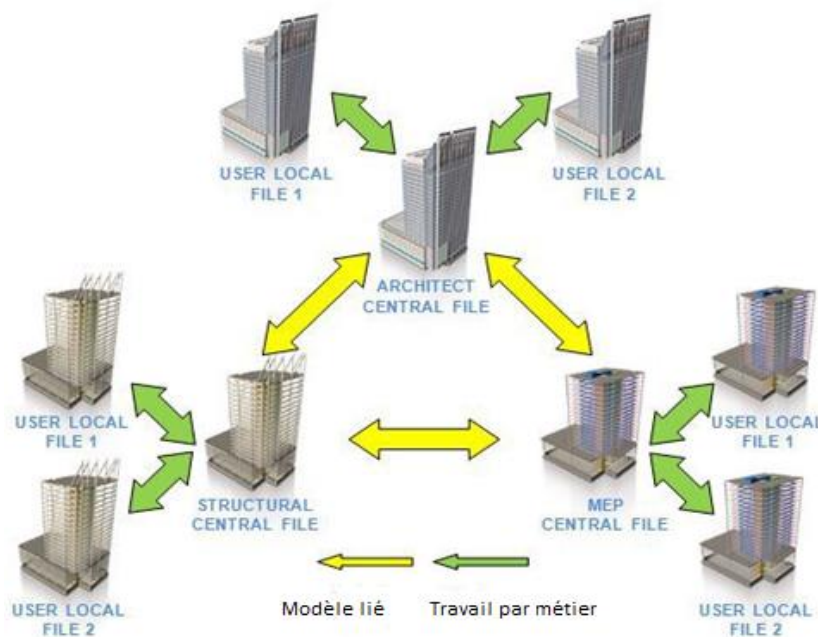


Figure 4.15 – Exemplification du fichier central et des fichiers locaux [55]

Chaque intervenant possède un sous-projet qui est une copie du fichier central, ce fichier central possède plusieurs composants qui sont automatiquement liés à chaque sous-projet permettant ainsi que chaque collaborateur intervienne uniquement sur les composants nécessaires pour la réalisation de sa tâche. Quand un intervenant veut informer les restants d'une modification, il doit synchroniser son sous-projet dans le fichier central et ensuite pour continuer son travail il le recharge, permettant ainsi de mettre à jour toutes les modifications du projet.

Tout au long d'un projet de construction il y a de nombreuses modifications, parfois un intervenant doit modifier un élément associé à un autre métier, par exemple si un collaborateur de thermique et



acoustique veut déplacer un voile le collaborateur du bureau d'études structure avant-projet reçoit une alerte pour le besoin de cette modification et il accepte ou non cette modification.

Pour permettre ce travail en mode collaboratif l'entreprise possède un serveur central qui contient toutes les données de l'entreprise et ensuite à partir d'une gestion d'accessibilité le responsable d'affaire affecte les intervenants du projet à toute l'information de ce projet.

En travaillant en mode BIM collaboratif il est possible de réduire considérablement le temps pour la réalisation d'un projet car les processus de travail ne sont plus autant séquentiels qu'auparavant, par exemple une fois que le BE structures avant-projet réalise ses études sur une cage, les autres métiers peuvent travailler sur cette cage pendant que le BE structure avant-projet continue de travailler sur les autres cages (Figure 4.16).

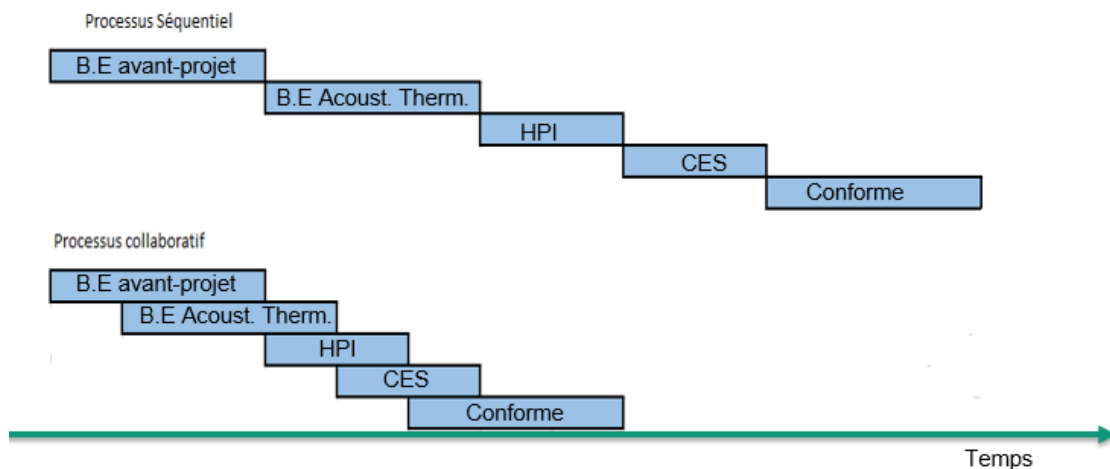


Figure 4.16 – Exemplification des deux processus de travail

Cette réduction de délais permet aussi de libérer plus de temps pour mieux concevoir l'ouvrage et offrir aux clients des projets de meilleure qualité. Les collaborateurs ont aussi bénéficié par cette évolution de l'implémentation du BIM de mieux comprendre le travail des autres collaborateurs, les points importants pour chaque métier et d'acquérir des connaissances multi métier. Tout cela apporte aussi des gains économiques directement liés à la productivité grâce à ce changement mais apporte aussi des gains indirects car de nombreuses erreurs sont évitées.

Les difficultés rencontrées par les collaborateurs sont dues au manque de maturité de cette méthode de travail, il y a encore une façon de travailler individuelle qui ne s'améliorera qu'au fil du temps. L'autre inconvénient est le peu de maturité que les entreprises étendues ont au niveau du BIM et surtout du BIM collaboratif.

L'objectif de réaliser un projet entièrement fait utilisant la maquette numérique a été accompli, utilisant le Revit comme fichier central et différents outils de simulation qui s'adaptent à chaque métier et permettent d'échanger les résultats avec le fichier principal (Figure 4.17).

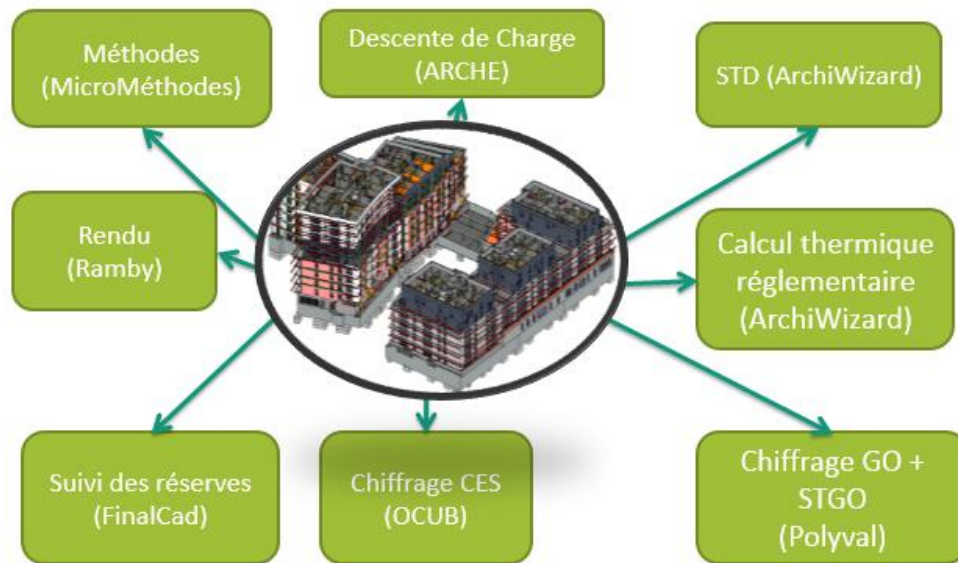


Figure 4.17 – Projet fait entièrement en utilisant la maquette numérique [28]

Les résultats obtenus des projets faits en BIM collaboratif sont intéressants, même si ces résultats n'atteignent pas encore les attentes de l'adoption du niveau 2 du BIM. Le tableau ci-dessous montre les résultats obtenus.

Tableau 4.2 – Résultats de la pratique du travail collaboratif

Travail Collaboratif au sein de la Direction Ingénierie Projet					
Ordre de modélisation ou Ordre de contrôle		Mise au point / Marché / Transfert		Préparation et Exécution	Gains <5%
		Ingénierie	Etudes de Prix		Gains <10%
1	Structure BA	Conception BE avant-projet	Métrés GO et STGO	Be exécution	Gains >10%
				Méthodes	
2	Isolation / Cloisons	Acoustique et Thermique		Cellule Conforme	
				Travaux contrôle	
3	Pièces et Equipement	Handicapés Incendies Cellule conforme - Synthèse	Métrés CES	Travaux réception	
				DOE	

En analysant le tableau il est possible d'observer que les gains ne sont pas uniformes pour toutes les cellules. Le BE avant-projet par exemple n'a pas obtenu un grand gain car non seulement il n'utilise pas énormément le logiciel mais aussi parce qu'il intervient tout au long de la première phase d'étude. Il est à noter que curieusement l'une des cellules qui obtient le plus de gains est la cellule conforme/synthèse car elle n'attend plus les plans définitifs pour commencer son travail.



## 4.6. MAQUETTES CREEES PAR L'ENTREPRISE

### 4.6.1. MAQUETTE INTEGREE LOGEMENT (MIL)

La maquette numérique n'a de sens que si l'information qui est insérée dans les phases amont est utilisée par les intervenants pendant les phases suivantes, afin d'augmenter la productivité interne et la fluidité de l'information. La direction d'ingénierie de projet se lance sur la création d'une maquette unique pour tous les métiers. Cette maquette est appelée « Maquette Intégrée Logement »(MIL) et comme son nom l'indique elle a été réalisée pour adapter la maquette numérique à la plupart des affaires qu'elle réalise. Cette maquette incorpore un gabarit avec une vision multi-métiers et multi-phases qui intègrent une gestion de projet adaptée avec une arborescence géométrique, fonctionnelle, temporelle dans un unique référentiel. Cette maquette doit permettre de faire plusieurs simulations très rapidement et être compatible avec les différents outils internes.

La Maquette Intégrée Logement est adaptée à toutes les phases des projets, les principaux avantages perçus de la MIL sont :

- Faire des volumétries pour réaliser des études de capacité et appréhender l'insertion du projet dans son environnement ;
- Paramétrage multi-métiers ;
- Familles adaptées au monde du logement et aux exigences des maîtres d'Œuvres et maîtres d'Ouvrages ;
- Elle garantit des exports cohérents vers des outils spécialisés d'aide à la gestion.

La création du MIL permet non seulement de diminuer considérablement les ressaisies mais aussi d'obtenir un modèle qui sera familier à tous les collaborateurs. Afin d'observer d'une façon plus intuitive les plans des différents métiers. Par exemple si un voile de façade de 16 cm est bleu pour tous les métiers, en observant sur un plan un voile de façade bleu tous les collaborateurs associent directement qu'il s'agit d'un voile de façade de 16 cm. Cela permet de faciliter les mises au point faites tout au long du déroulement d'un projet et de diminuer la quantité de doutes qui apparaissent lors de l'analyse d'une maquette modélisée par d'autres métiers.

Cette démarche est accompagnée d'une charte de modélisation qui permet de communiquer à tous les acteurs directs et indirects du projet les principales règles de modélisation utilisées. Cette charte permet d'assurer que tous les acteurs ont la même vision de la maquette facilitant ainsi les bouclages et les repères des quantités.

Les projets du secteur du BTP sont particuliers, il y a un grand nombre d'intervenants tout au long d'un projet et chaque métier a des besoins spécifiques pour exécuter ses missions. Cela entraîne une grande production d'information au fur et à mesure que le projet avance. Il a été créé un serveur où toute l'information nécessaire est stockée, dans ce serveur les éléments spécifiques de chaque métier sont séparés par métier et les éléments communs à plusieurs métiers sont insérés dans le gabarit comme il est possible de l'observer sur l'image ci-dessous.

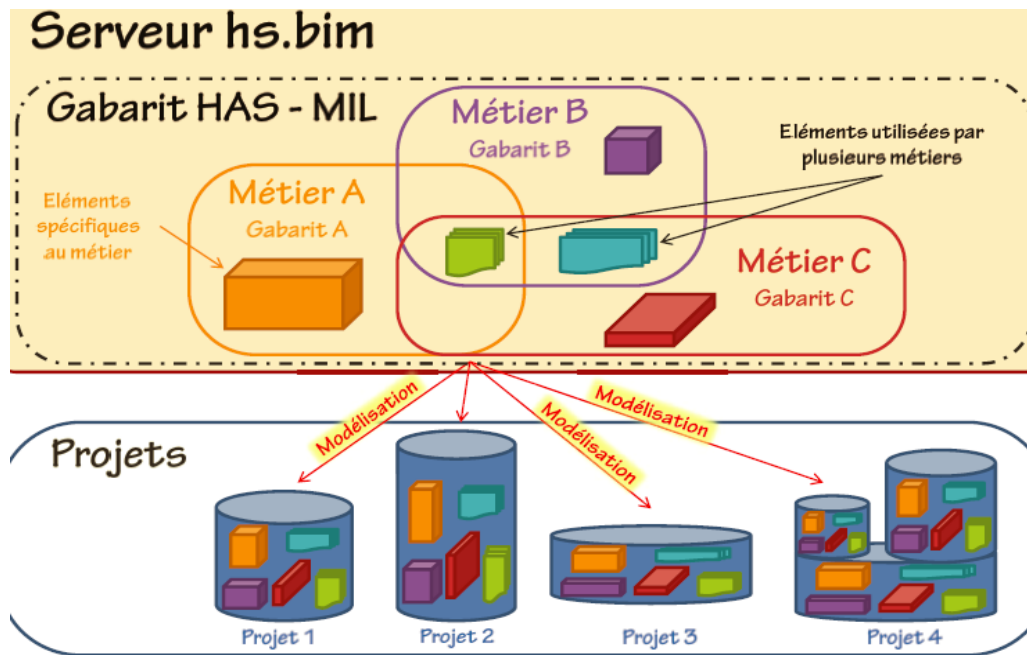


Figure 4.18 – Organisation de la MIL [28]

La création d'un gabarit nécessite d'éditer une grande quantité de données, mais la tâche la plus difficile est d'assurer que toutes les cellules travaillent sur le même fichier. La complexité de cette démarche a entraînée de nombreuses réunions afin de mettre en accord les responsables du développement de la maquette de chaque métier. En complément de ces réunions il a été assemblé tous les éléments des différents métiers pour pouvoir identifier l'existence des éléments doublons, des éléments qui doivent être adaptés à d'autres métiers et des éléments qui sont devenus inutiles. Il est important de ne pas avoir un fichier surchargé car cela va à l'encontre de cette démarche.

Les tâches réalisées ciblent plusieurs points du gabarit comme les paramètres, les filtres, les gabarits de vue, l'arborescence, les cartouches, les annotations, les nomenclatures, les matériaux et le développement de familles.

Les paramètres ont été tous rassemblés dans un fichier afin de pouvoir visualiser les paramètres associés à chaque métier, d'observer si les paramètres sont corrects ou s'ils pourraient être modifiés. Pour diminuer la quantité de paramètres existants il a été créé des paramètres communs pour les différents métiers. Cela apporte d'une part la diminution de temps de recherche d'un paramètre et d'une autre part une homogénéité des paramètres.

Pour l'édition des filtres la stratégie est identique. Il a été créé une base de données de tous les filtres pour que les collaborateurs puissent premièrement avoir une idée du nombre de filtres existant et deuxièmement pouvoir vérifier avant d'en créer un nouveau s'il n'y a pas déjà d'équivalent. Les filtres sont rangés dans les gabarits de vue correspondant à chaque métier et au type de plans. Avec ce travail les doublons sont éliminés et les filtres associés à des paramètres facilement modifiables sont remplacés. Il faut en effet que les filtres ne puissent pas être modifiés facilement pour éviter les doublons et les oublis tout au long du projet.

Chaque acteur a sa façon de travailler et de voir le projet, par exemple l'étude de prix travaille sur une vue en plan tandis que le BE avant-projet travaille sur une vue en hauteur. De plus, les collaborateurs des différentes cellules ont une vision du projet propre à leurs tâches. Par exemple une porte est vue de manière différente par chaque collaborateur. Comme il peut être vu en observant l'image ci-dessous

chaque cellule voit une porte avec une vision différente. Par exemple la cellule synthèse nécessite d'observer l'ouverture de la porte et observer ses dimensions, l'architecte a une vue esthétique et fonctionnelle de la porte, la cellule du BE exécution n'observe pas uniquement la porte mais aussi la largeur nécessaire pour insérer les coffrages.

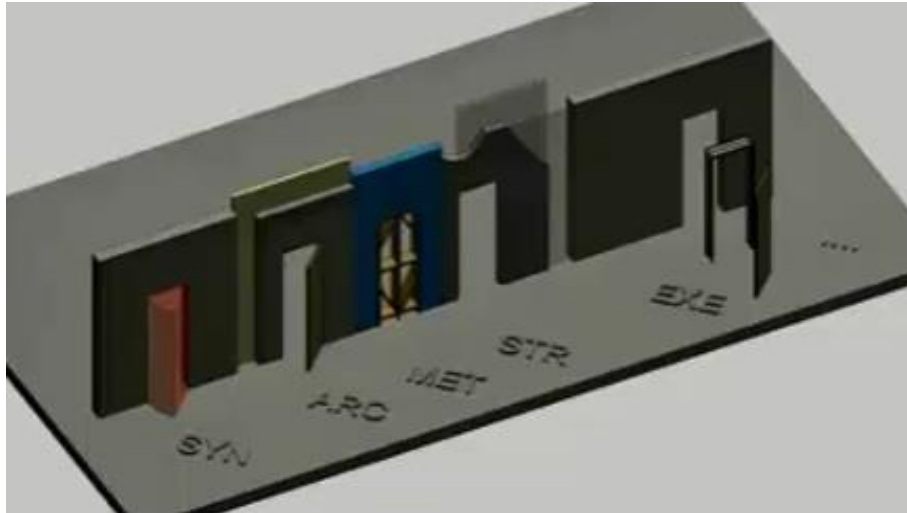


Figure 4.19 – Vue de chaque métier [28]

C'est pour cela que l'organisation d'une arborescence qui satisfasse tous les intervenants est complexe. La solution trouvée pour résoudre cette problématique est d'affecter à chaque métier un type de vue personnalisé avec un gabarit de vue qui lui est propre.

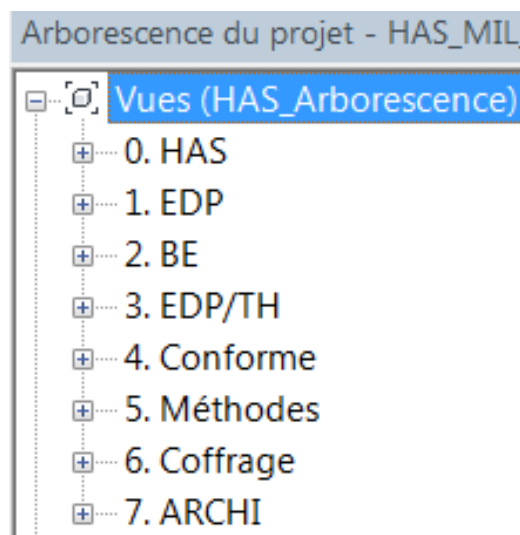


Figure 4.20 – Organisation de l'arborescence

L'arborescence pourrait paraître surchargée mais le logiciel permet à chaque utilisateur dans son sous-projet d'avoir une arborescence personnalisée avec uniquement les répertoires qui lui sont utiles. Par exemple un collaborateur d'étude de prix organise ou trie l'arborescence comme ci-dessous :

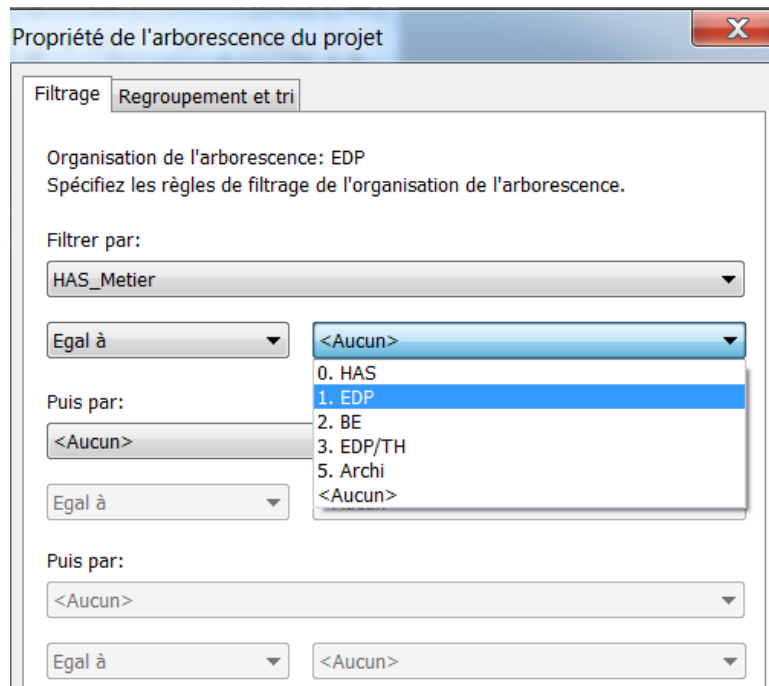


Figure 4.21 – Filtrer l'arborescence

Les feuilles d'impression insérées dans la MIL sont paramétrées pour être prêts-à-imprimer, chaque étage à une feuille d'impression associée avec son tableau de nomenclature. Les cartouches des différents métiers sont similaires ce qui permet à l'entreprise de personnaliser leurs plans et surtout d'avoir des paramètres en commun.

De nombreux paramètres sont commun entre les métiers, comme par exemple le numéro commercial du projet, ces paramètres sont créés et associés à la catégorie « information du projet » et avec cela il suffit d'insérer une fois ces informations qu'elles soient automatiquement insérées sur tous les cartouches.

Pour donner suite à la personnalisation de la maquette il a été fait une homogénéisation des annotations comme par exemple les côtes et les légendes. Les matériaux ont aussi été personnalisés en insérant des informations relatives à son apparence, ses propriétés physiques et thermiques. Cela a permis d'enrichir le modèle central avec une plus grande quantité d'informations qui pourra dans un futur proche être exploitées sur d'autres logiciels.

Les familles aussi ont été modifiées, les collaborateurs de la cellule de conformité et CES ont fusionné quasiment la totalité des familles afin d'insérer en amont les familles qui figureront dans la maquette destinée aux clients.

Quelques familles ont été faites en collaboration avec la direction des achats intégrés (DAI) pour pouvoir exploiter au mieux les potentialités de la maquette et extraire automatiquement les quantités et informations de ces familles.

Les collaborateurs des différents métiers ont aussi adapté leurs familles les uns avec les autres incorporant des paramètres qui permettent de répondre aux nécessités de chaque métier. Par exemple le cas d'une fenêtre, l'architecte modélise une fenêtre avec un rendu acceptable avec quelques détails, mais ces détails ne rapportent pas de valeur pour les tâches des études de prix, pour eux la fenêtre pourrait être simplement un cadre avec les bonnes cotes.

Avant cette démarche le BE en phase exécution pour réaliser ses plans de coffrage éliminait ces fenêtres modélisées par l'architecte et insérait un nouveaux type de fenêtre qui prenait en compte l'épaisseur des éléments de coffrage et ensuite il était nécessaire de remodeliser la maquette pour le client final. Actuellement les nouvelles familles de fenêtres possèdent déjà tous les paramètres pour insérer les épaisseurs de coffrage. Ainsi le BE peut ajouter ses données sans avoir à effacer des éléments de la maquette. Cette nouvelle possibilité permet de travailler plus vite avec une meilleure qualité.

#### 4.6.2. MAQUETTE INTEGREE LOGEMENT-ARCHITECTE (ET METREUR)

La maquette numérique étant vue comme une technologie innovante un grand nombre d'entreprise ont du mal à se convaincre des bénéfices de son utilisation. Cela fait que l'entreprise n'atteint pas de meilleur résultat car les revenus de la maquette dépendent essentiellement du niveau d'adoption interne et des entreprises étendues comme les architectes, les métreurs et les fournisseurs.

Comme certaines entreprises associées (architecte et métreur) ne s'engagent pas au même rythme dans la maquette numérique l'entreprise a lancé la création d'une nouvelle maquette intitulée « MILArchi » qui est une version allégée de la MIL destiné aux Architectes pour les projets du type Conception-Construction. Le but de cette démarche est de mettre en pratique le savoir-faire de l'entreprise et de créer une maquette bénéfique aux architectes et aux métreurs.

La filiale HAS qui travaille essentiellement sur des mêmes types de construction a pu créer des maquettes numériques modèles pour en tirer le meilleur parti. Ces maquettes pourront être utilisées avec quelques adaptations par les autres UO de Bouygues Bâtiment Île-de-France.

A terme l'utilisation du BIM dans le secteur permettra de réaliser les études préliminaires plus rapidement, en faisant les études directement à partir des maquettes modélisées par l'architecte (conception-construction) ou les métreurs (Appel d'offre).

Pour cela il faudra aussi adapter les macros pour exporter les nomenclatures vers les outils de chiffrage interne.

L'entreprise intervient en Île-de-France où les terrains sont chers, donc l'optimisation des ratios de surface habitable est un point capital. L'un des objectifs de la création de cette maquette est l'incorporation d'un guide d'utilisation afin d'exploiter les potentialités du logiciel Revit pour extraire rapidement les différentes valeurs des surfaces SHO SHON RT.

Il est possible d'extraire toutes les surfaces désirées avec la création de nomenclature, de paramètre et de valeur calculée, mais pour les études de faisabilité il est nécessaire d'avoir une méthodologie de travail qui permette de faire des changements rapidement.

En utilisant les fonctionnalités du logiciel il est possible créer des volumes in situ où les intervenants peuvent avoir instantanément plusieurs chiffres importants pour l'étude de faisabilité du projet (Figure 4.22). Avec cette démarche il est possible d'avoir une estimation du nombre de logements, l'impact environnemental du bâtiment, des ratios SHO/SHA, entre autres.

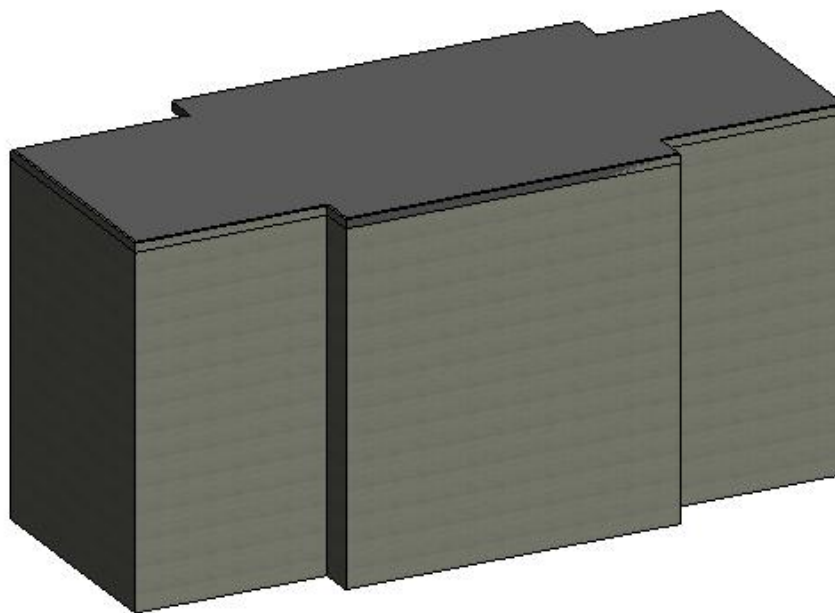


Figure 4.22 – Projet en volume

Ce gabarit incorpore aussi des gabarits de vue pour offrir des plans avec plus de rendu et mettre en évidence les aspects importants pour l'architecte. La maquette numérique doit être bénéfique à tous les intervenants. Il a été décidé de créer plusieurs familles plus adaptées à cette phase d'étude pour optimiser le travail des modélisateurs. Cette simplification amène une perte de précision, mais l'entreprise connaît approximativement le pourcentage de l'erreur et peut garantir la qualité nécessaire à cette phase de projet. Pendant les phases suivantes le projet est souvent soumis à plusieurs modifications et sera reprecisé donc les quantités seront souvent très variables.

En résumé, ces maquettes sont la preuve de l'engagement que l'entreprise a pour innover et intégrer des processus de travail collaboratif interne et avec ses entreprises associées. La démarche MIL, permet de faciliter l'insertion des collaborateurs qui n'ont pas encore eu à l'utiliser grâce aux familles et aux guides de modélisation. Le travail d'édition des familles est essentiel pour faciliter la modélisation, diminuer les erreurs de projet, augmenter la précision des calculs et favoriser l'intégration de la MIL par les autres départements de l'entreprise comme les travaux et les achats. L'entreprise arrive à adapter les deux maquettes à chaque phase d'étude, en utilisant la MIL\_Archi pour la phase de sousmission et la MIL pour les autres phases du projet.

## 4.7. COLLABORATION ETENDUE

### 4.7.1. COLLABORATION AVEC LES FOURNISSEURS (PASSANT PAR LES ACHATS) ET CLIENTS

En faisant une rétrospective de l'évolution de la maquette numérique, il est possible d'observer que l'évolution de la maquette est liée à l'évolution des phases de projet. Initialement la maquette était vue comme une modélisation 3D avec très peu d'information liée. En outre elle servait uniquement aux architectes. La deuxième étape fut l'adaptation de ces logiciels de modélisation aux logiciels de calculs et simulations afin d'élargir le champ d'application du BIM et répondre aux besoins des ingénieurs et des études de prix. Les cellules comme la cellule méthodes qui travaille pendant la phase de conception arrivent à tirer des bénéfices de la maquette car elles travaillent en bureaux et pour réaliser leurs tâches elles utilisent surtout la visualisation 3D. Suivant cette logique la prochaine étape

des méthodologies BIM est de créer les conditions nécessaires pour incorporer les acteurs responsables pour la phase d'exécution.

L'optimisation des échanges avec les directions des achats intégrés, les fournisseurs et les travaux, ces liaisons constituent une démarche très importante car cela permet de couvrir la plus grande partie des échanges d'informations directement liés à la construction des projets.

Les fournisseurs et les fabricants sont de plus en plus importants dans le monde du BIM, ils prennent une part significative pour atteindre toutes les potentialités de la maquette en intégrant des informations précises dès le début du projet. La précision de la maquette en phase amont permet de mieux préparer l'ouvrage et de diminuer le risque d'apparition de mauvaises surprises. Avec cela il est possible de comparer les produits plus facilement et les chiffrages seront rapides et les modifications actualisées automatiquement.

La direction des achats intégrés en collaboration avec plusieurs cellules de CES ont mis en avant la création d'une bibliothèque d'objets BIM modélisés conformes aux caractéristiques des fiches des fabricants et s'adaptant aux besoins des ingénieurs. La direction des achats et les CES ont comme objectif commun avec les collaborateurs de la direction d'ingénierie de projet d'avoir des familles évolutives et adaptables au niveau de développement et de détail de chaque phase de construction. Cette stratégie de créer des familles évolutives est importante pour ne pas surcharger les fichiers avec des informations qui ne sont pas nécessaires pour les étapes en cours. Du point de vue de la modélisation l'objectif est de créer des familles qui soient faciles d'insérer dans la maquette et qui soient facilement paramétrables et modifiables.

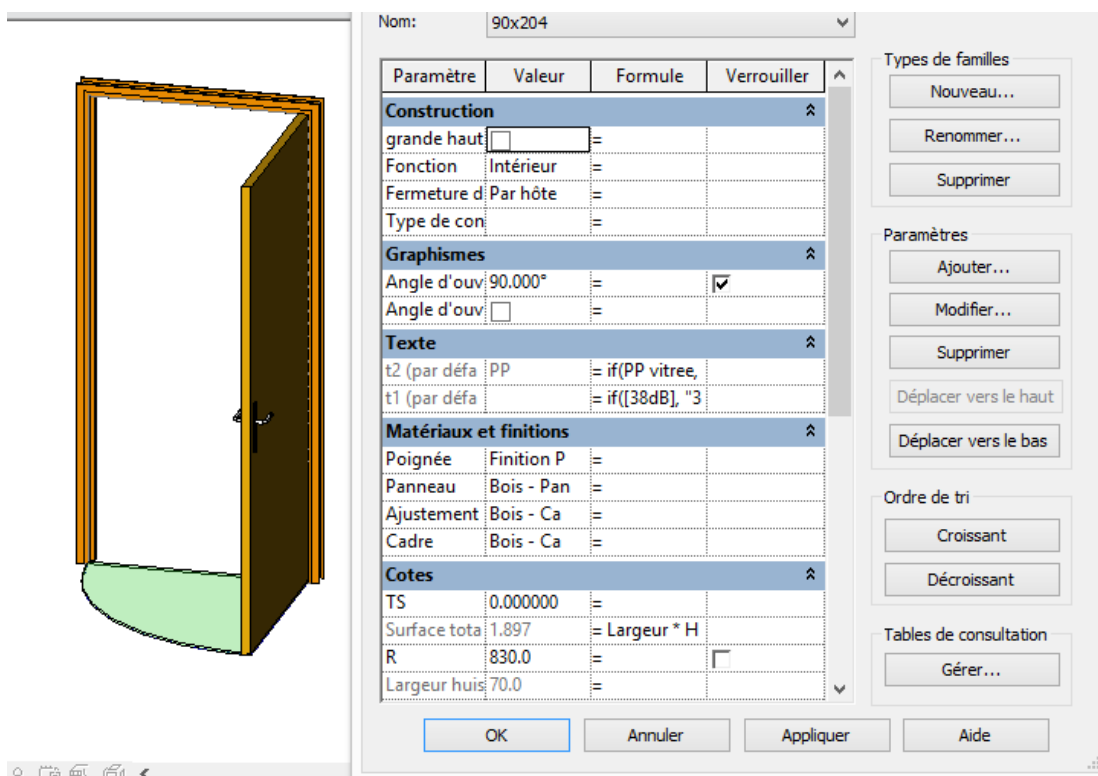


Figure 4.23 – Famille avec vue du service achat

Des applications informatiques insérées sur Revit sont en développement pour optimiser les processus d'insertion d'informations, comme par exemple quand une porte est insérée dans la maquette il est

possible d'indiquer les caractéristiques qui figurent dans le cahier des charges, notamment son type, les matériaux de ses différents éléments, ses cotes principales (Figure 4.23), afin de connaître directement quels sont les fournisseurs potentiels et les prix. L'intervention du service conforme est essentielle pour établir la liaison avec le service des achats.

Les potentialités de cette démarche ne s'arrêtent pas là, l'insertion complète de l'information des caractéristiques des éléments facilite l'exploitation de la maquette numérique pendant la phase de d'exploitation.

L'insertion des paramètres qui lie la maquette au format COBie est un bon exemple que la maquette puisse être utilisée pendant la phase d'exploitation (Figure 4.24).

La création des tableaux COBie ne semble pas compliquée, avec les outils que l'entreprise utilise comme Revit, la saisie des informations est rapide car il existe une application qui permet d'exporter les données du logiciel vers ce tableau. L'inconvénient est que la construction d'un bâtiment contient des milliers d'éléments, la recherche pourra être longue et dans certain cas, la feuille de tableur n'a pas la capacité de tous centraliser.

The screenshot shows the 'Type Properties' dialog box for a 'System Family: Compound Ceiling'. The 'Type' is set to '600 x 600mm grid'. The 'Type Parameters' section includes a table with the following data:

Parameter	Value
Heat Transfer Coefficient (U)	
Thermal Resistance (R)	
Thermal mass	
Absorptance	0.100000
Roughness	1

The 'Data' section contains the following parameters:

COBie.Type	<input checked="" type="checkbox"/>
COBie.Type.CreatedBy	Brendan.Patchell@Bouygues-UK.com
COBie.Type.CreatedOn	2014-07-15T12:11:07
COBie.Type.Name	Ceilings_BP958M
COBie.Type.Category	Ceilings
COBie.Type.Description	Ceilings_600 x 600mm grid
COBie.Type.AssetType	Suspended Ceilings
COBie.Type.Manufacturer	Armstrong Tiles Uk
COBie.Type.ModelNumber	Tatra Board
COBie.Type.WarrantyGuarantorParts	Armstrong Tiles UK Ltd
COBie.Type.WarrantyDurationParts	36
COBie.Type.WarrantyGuarantorLabor	London Supply by others Ceilings Ltd
COBie.Type.WarrantyDurationLabor	36
COBie.Type.WarrantyDurationUnit	months
COBie.Type.ReplacementCost	40.00
COBie.Type.ExpectedLife	30
COBie.Type.DurationUnit	years

Buttons at the bottom include '<< Preview', 'OK', 'Cancel', and 'Apply'.

Figure 4.24 – Exemple de paramètre COBie [28]

Dans un cadre plus commercial l'entreprise utilise une technologie de réalité augmentée créée par le groupe Bouygues Construction se distinguant ainsi de ses concurrents en abordant les projets avec une vision plus réaliste (Figure 4.25).





Figure 4.25 – Technologie de réalité augmentée « Ramby » [28]

#### 4.7.1. COLLABORATION AVEC LES TRAVAUX

Avec l'évolution des technologies informatiques la maquette numérique s'est étendue jusqu'à la phase de travaux. La possibilité d'explorer la maquette avec des outils grand public (tablettes) faciles à utiliser est une réelle évolution des méthodologies BIM. La maquette numérique permet aux équipes de travaux de consulter et visualiser le projet dans une phase amont plutôt que de découvrir les interférences entre les différents éléments tout au long de la construction.

Les outils de collaboration entre les différents métiers existent depuis de nombreuses années comme par exemple les outils de messageries, qui ont optimisé considérablement les échanges entre collaborateurs permettant de diminuer les déplacements et de gaspiller de l'énergie sans apporter de valeur ajoutée. L'avènement des outils de messagerie a principalement permis d'augmenter la productivité des entreprises internationales.

Les visionneuses BIM jouent un rôle essentiel pour l'exploitation de la maquette par tous les acteurs une fois que ces visionneuses sont accessibles sur tous les domaines. La plupart des *viewers* du secteur, sont gratuits et nécessitent moins de puissance informatique que les logiciels de modélisation, ils peuvent être installés sur les ordinateurs portables, tablettes ou *smartphone*.

Cela permet aux petites et moyennes entreprises (PME) de travailler aussi en collaboration avec les autres intervenants afin de pouvoir exploiter les données de la maquette. Les visionneuses permettent aux équipes de Travaux de visualiser les maquettes dans les principaux formats ouverts BIM comme par exemples le format IFC.

L'entreprise fait déjà cette liaison utilisant un outil de visualisation de la maquette qui permet d'optimiser les tâches des équipes de travaux. Cette démarche est venue remplacer les plan 2D par une visualisation 3D du projet permettant d'avoir une vision plus précise et maniable avec la possibilité de faire des coupes du bâtiment instantanée.

Continuant dans le cadre de visualisation, les travaux ont aussi accès à tous les plans produit par la direction d'ingénierie de projet (comme par exemple les plans conformes, les plan des cycles, les plans de coffrages etc...) tous ces plans contiennent les annotations nécessaires pour la réalisation du bâtiment permettant d'identifier directement les cas particuliers de l'affaire. (Figure 4.26).

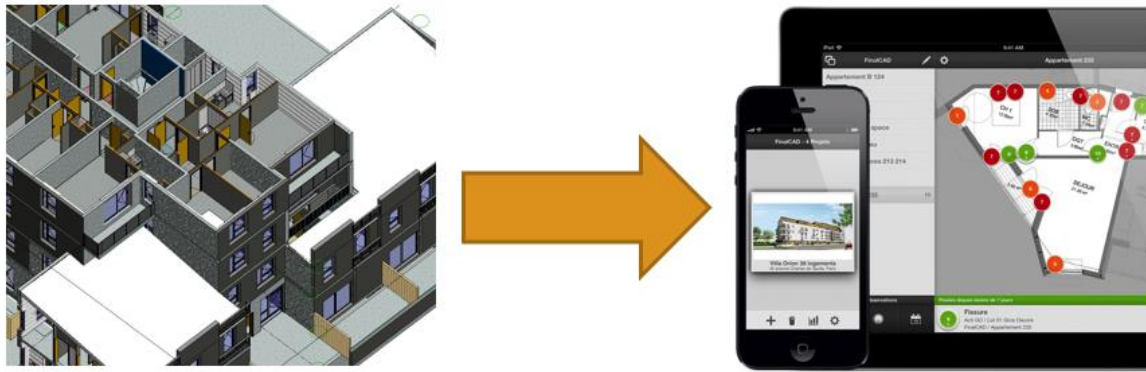


Figure 4.26 – La maquette dans des outils portables

Le service conforme est essentiel pour cette liaison entre la DIP et les travaux avec l'insertion des remarques sur les plans conformes, alertant les travaux sur les lieux du projet où ils doivent particulièrement prêter attention et actuellement la cellule conforme fournit aussi les quantités de différents éléments. Le service des travaux peut aussi récupérer plus facilement les informations techniques associées au bâtiment, évitant de perdre du temps dans la recherche d'informations.

Le grand bénéfice de ce changement est la possibilité de modifier la maquette, il est possible de cacher ou d'isoler des éléments qui ne sont pas utiles, la visionneuse permet aussi de réaliser des commentaires et des annotations directement sur la maquette, cela permet non seulement de faciliter la communication des différents acteurs en identifiant géographiquement la remarque comme il peut voir directement quelle est la remarque faite et à qui elle s'adresse.

Le format IFC est le principal format standard du BIM, c'est pour cela que quasiment toutes les visionneuses BIM ont la capacité de lire les maquettes sous format IFC. Les principaux éditeurs de ces visionneuses proposent de plus en plus des solutions en ligne afin de permettre aux collaborateurs de faire des annotations et modifications en temps réel.

La maquette a permis aussi d'obtenir des gains considérables lors des réunions soit sur le chantier comme dans les bureaux, avec la maquette les réunions sont faites dans une ambiance plus collaborative. Les réunions seront prochainement tenues dans un environnement numérique, avec comme objet central la maquette numérique, les salles de réunions seront désormais constituées par un projecteur ou un écran tactile de grande dimension relié à un ordinateur permettant ainsi à tous les collaborateurs d'avoir accès aux mêmes informations en même temps (Figure 4.27).



Figure 4.27 – Réunion en collaboration

Ce type de réunion facilite la résolution de problèmes car non seulement les collaborateurs ont une vision 3D en grande taille permettant de voir jusqu'aux plus petits détails, mais aussi de sauvegarder instantanément les prises de décisions.

## 4.8. BIM INTEGRE

### 4.8.1. TRAVAIL COLLABORATIF BASEE SUR CLOUD

L'affirmation de l'ingénierie concourante et l'abandon progressif de l'ingénierie séquentielle est établie avec l'arrivée des technologies qui permettent une totale collaboration entre tous les acteurs sur un référentiel unique. C'est considéré comme le dernier niveau du BIM, le BIM niveau 3 ou le BIM intégré, où tous les intervenants travaillent sur un modèle unique durant tout le cycle de vie du projet à partir des formats qui garantissent l'interopérabilité décrite précédemment comme les IFC,IFD et IDM. Le BIM intégré est la dernière phase de cette révolution du métier, ce niveau n'est pas encore praticable car il exige un changement profond que l'industrie n'est pas encore en capacité de faire comme la définition de nouveaux types de contrats adaptés au BIM et la collaboration avec une répartition des tâches de chaque intervenant prenant en compte les risques respectifs en répartissant les honoraires. Ce niveau de maturité exige un changement à tous les niveaux, c'est l'une des causes pour lequel le Royaume-Uni s'est arrêté au deuxième niveau du BIM pour le moment.

Le BIM intégré peut être composé de deux sous niveaux : l'implémentation dans un premier temps d'un serveur BIM et dans un deuxième temps une approche des méthodologies PLM avec un ensemble d'outils de collaboration et de gestion d'information.

Les bénéfices du travail collaboratif sont reconnus par les éditeurs de logiciel BIM, leurs logiciels ne cessent d'évoluer et d'offrir aux utilisateurs des solutions qui améliorent la collaboration. Les principaux éditeurs de logiciels BIM comme Autodesk, Graphisoft et Bentley, ont lancé des solutions basées sur cloud. Les applications BIM dans le *cloud* sont en pleine croissance principalement parce qu'il permet de répondre aux besoins actuels du secteur, des PME aux plus grandes entreprises internationales.

Le *cloud computing* peut se traduire par l'information dans un nuage ou en ligne, c'est une infrastructure qui permet d'exploiter la puissance de calcul ou de stockage de serveurs informatiques à partir d'un réseau. Le réseau plus connu est évidemment internet, ce changement de paradigme est bien accueilli par les acteurs du BTP car il rapporte plusieurs bénéfices aux entreprises. Selon le *National Institute of Standards and Technology*, le *Cloud Computing* est caractérisé par 5 aspects essentiels, 3 niveaux de service proposé et 4 modèles de développement, ces modèles peuvent être privés, communautaires, publics ou hybrides. Les 5 caractéristiques que les solutions *Cloud* doivent avoir sont [56] :

- Les ressources doivent être en libre-service ;
- Accessible sur l'ensemble d'un réseau, il doit permettre d'être utilisé à partir de plusieurs plateformes, donc utiliser des techniques standard ;
- Il doit exister une mutualisation des ressources, permettant de centraliser des ressources hétérogènes afin que les utilisateurs puissent partager un assemblage de ressources avec d'autres ;
- Le service doit avoir la capacité de mesurer et afficher des paramètres de consommation ;
- Le service doit être élastique soit, la capacité de stockage et de puissance de calculs doivent être adaptées automatiquement aux demandes des utilisateurs.

Le *Cloud Computing* peut être fourni sous trois types différents, l'*Infrastructure as a Service* (IaaS), *Platform as a Service* (PaaS) et le *Software as a Service* (SaaS), ce qui les distingue est ce que le fournisseur gère et ce que l'entreprise gère comme le montre la figure ci-dessous.

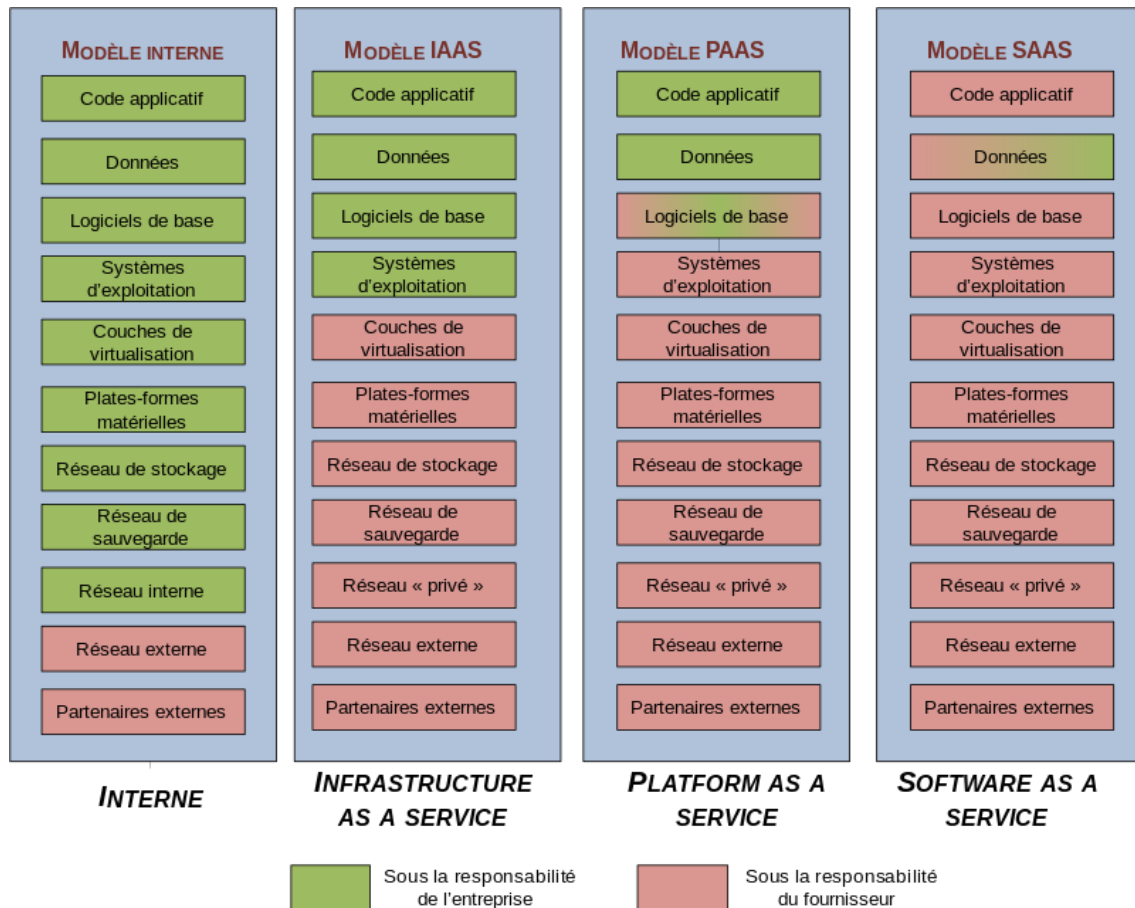


Figure 4.28 – Les types de services Cloud [57]

- IaaS, comme il est possible de l'observer ce modèle est le moins complet des trois, le fournisseur fournit une infrastructure informatique et l'entreprise gère les passerelles entre des serveurs et les logiciels applicatifs.
- PaaS, ce type de service *cloud* fournit une plateforme informatique, l'utilisateur a le contrôle des applications et des données pouvant aussi ajouter ses propres outils.
- SaaS, peut se traduire comme, logiciel en tant que service, il fournit à l'utilisateur des applications, des logiciels. Le consommateur utilise directement le logiciel sans se soucier d'aucune opération d'actualisation des logiciels, ce type de système est de plus en plus utilisé car il permet aux entreprises de ne plus avoir à payer des licences mais de payer un ensemble d'outils selon son utilisation.

Les services SaaS et PaaS sont les plus utilisés dans le *Cloud Computing* des processus BIM. Le *Cloud computing* est associé à l'informatique dématérialisée, avec l'avènement de cette technologie les utilisateurs ne nécessitent plus de télécharger les applications ou les programmes sur leurs ordinateurs, le serveur fournit la puissance nécessaire pour que les personnes utilisent ces applications et

programmes, ainsi l'ordinateur, ou terminal, ne servent seulement que d'interface pour utiliser ces outils.

Cela n'est pas le seul bénéfice que les services cloud apportent, avec le BIM les logiciels demandent de plus en plus de capacités et ressources informatiques et cela pour les grandes entreprises devient un coût très important, tandis qu'avec le service *cloud* des ordinateurs moins puissants suffisent pour utiliser ces outils du BIM. Ce point est très important et permet d'augmenter la productivité de tous les intervenants comme les architectes qui pourront dorénavant réaliser les rendus plus rapidement sans être dépendant de la puissance de leurs outils.

Les travaux bénéficient aussi de cet avènement avec la possibilité de travailler avec des outils plus pratiques et moins encombrants sur chantier comme les tablettes ou mêmes les smartphones. Il est vrai que les équipes des travaux dépendent toujours de la disponibilité du réseau, mais l'entreprise travaillant uniquement dans la région de l'Île-de-France aura rarement des problèmes de réseau.

Le futur du BTP dépend directement de cette méthode de travail car le secteur du BTP est en plein changement et les entreprises travaillent de plus en plus sur les marchés internationaux, notamment dans les pays en développement. Avec ce système tous les intervenants peuvent accéder aux projets de n'importe quel endroit à partir du moment où ils possèdent une liaison internet. Au niveau international, les maîtres d'œuvres se sont donc impliqués fortement dans ces solutions, les plus grandes entreprises de construction étant les plus actives dans le *cloud*.

Les principaux inconvénients sont liés à la dépendance de réseau et à la sécurité de l'information. Les questions de sécurité des informations hébergées dans les serveurs sont actuellement encore un grand frein pour de nombreuses entreprises.

Le passage du BIM niveau 2 au BIM niveau 3 n'est pas si compliqué qu'il n'y paraît car le mode de fonctionnement est quasiment identique. Les collaborateurs continuent de travailler en collaboration, chacun réserve sa partie de projet. Le principal changement est de ne pas avoir à synchroniser manuellement à chaque avancement du projet car le projet central s'actualise automatiquement (Figure 4.29).



Figure 4.29 – Exemplification du mode de travail sur fichier central et référentiel unique

La grande différence est que dans le BIM niveau 2 les entreprises travaillent sur un fichier central tandis que le BIM niveau 3 le travail est réalisé sur un référentiel unique. L'inconvénient de travailler sur un fichier central est que l'information qui est insérée n'arrive pas à communiquer avec d'autres informations, par exemple, le fichier central Revit contient toute l'information que l'architecte et les bureaux d'études techniques ont insérée mais ne contient pas les chiffrages faits par les études de prix dans d'autres outils ni même le planning commercial.



La possibilité de lier les outils PLM à la maquette numérique permettra d'atteindre le troisième et dernier niveau de maturité BIM, permettant à l'entreprise de travailler dans un référentiel unique. Travailler dans un référentiel unique permet de travailler en totale collaboration avec tous les intervenants et d'avoir une traçabilité de l'évolution du projet. Les logiciels BIM permettent de centraliser toutes les données sur un fichier central ou serveur mais il n'arrive pas à faire la gestion de cette information contrairement aux logiciels PLM.

## 4.9. PRODUCT LIFECYCLE MANAGEMENT

### 4.9.1. PLM CHEZ HAS

La collaboration est sûrement l'axe essentiel pour le succès des projets, coordonner efficacement les différentes équipes est un défi à relever. Bouygues Bâtiment Ile-de-France Habitat Social a été choisi par l'équipe de R&D responsable pour le programme « Be In Motion » de réaliser un projet pilote pour tester les potentialités des outils PLM dans l'industrie. Le but de l'entreprise est d'atteindre le BIM intégré jusqu'à 2018, les outils PLM sont vus comme la solution idéale pour atteindre cet objectif. Pour débiter une démarche de cette envergure il est essentiel de comprendre d'abord qu'est-ce le PLM.

Cette filiale du Groupe Bouygues réalise essentiellement des projets du type appels d'offres. Pour ce type d'affaire il est essentiel d'avoir une bonne coordination entre tous les acteurs. Les outils PLM jouent un rôle important pour gérer toute cette information et archiver le cycle de vie du projet, permettant aussi de collecter plusieurs informations qui pourront être réutilisées, comme par exemple les noms des fournisseurs, des sous-traitants, les difficultés observées et leurs résolutions entre autres.

Pour définir une stratégie d'adoption d'une technologie comme le PLM il est nécessaire d'avoir une idée sur un ensemble des variantes comme par exemple la dimension de l'entreprise, son insertion économique, le marché ... Cela dépend aussi des demandes des entreprises car les éditeurs de logiciels PLM offrent plusieurs versions adaptant ainsi les fonctionnalités aux besoins des entreprises. Le PLM peut aller d'une simple amélioration de la GED jusqu'à l'axe principal stratégique de l'entreprise comme il est possible de l'observer sur la figure suivante.



Figure 4.30 – Le PLM comme stratégie d'entreprise [58]

La dimension de l'entreprise est un point essentiel pour proposer une stratégie d'adoption du PLM car il y a des fonctionnalités des outils PLM qui ne seront pas bénéfiques pour des petites ou moyennes entreprises (PME) et d'autres qui ne seront pas viables pour les entreprises de grande tailles.

L'analyse des tâches réalisées par le secteur est l'un des points le plus important pour étudier la viabilité de cette démarche. S'il est fait une étude sur la viabilité d'adopter un outil PLM pour la filiale Bouygues Bâtiment ÎdF Habitat Social, cette étude ne pourra pas être directement adaptée à la viabilité de l'adoption du PLM par d'autres filiales.

Une grande partie des projets réalisés par l'entreprise sont similaires comme par exemple les modes opératoires, les matériaux utilisés, les types de contrats et les sous-traitants. Le fait que l'entreprise réalise souvent les mêmes tâches, permet d'envisager l'augmentation de la standardisation. De plus l'entreprise intervient uniquement dans la région francilienne ce qui favorise la possibilité d'adapter des processus plus automatisés, notamment les liaisons avec les fournisseurs, les sous-traitants, les maîtres d'œuvre, entre autres. Tout cela permet à l'entreprise de pouvoir automatiser plusieurs processus de travail.

La collaboration est un des concepts clé pour le futur du secteur et de la PLM. Le fait que l'entreprise travaille uniquement sur une région permet une collaboration plus simple entre les équipes. De plus les villes de cette région possèdent de bons réseaux ce qui permet d'avoir un contact direct entre les équipes. Un autre point à analyser est au niveau de la concurrence : il est essentiel de ne pas se laisser dépasser et un tel investissement y contribue de manière évidente.

L'entreprise possède déjà une plateforme qui répond efficacement à plusieurs besoins, au niveau de la gestion d'informations, cette plateforme a déjà été décrite dans les chapitres précédents sous le nom de Chorus. Cette plateforme permet avant tout de gérer les documents d'une façon plus simple et plus organisée. Chorus contient tous les projets et chaque projet possède un planning affecté avec les types de jours, les types de jalons et les types de tâches (Figure 4.31). Ces dernières possèdent une couleur qui correspond à chaque cellule.



Figure 4.31 – Planning Commerciale [28]

Dans cette page la plateforme associe les principaux responsables de l'affaire comme par exemple le responsable commercial ou de l'EDP. Tous les intervenants du projet sont insérés dans la plateforme, les intervenants insérés ne sont pas seulement les collaborateurs internes mais aussi les intervenants externes. Cette association est faite à partir d'une liste synchronisée avec l'outil « Polibrain ». L'image suivante montre l'interface de la plateforme qui informe qui sont les différents intervenants du projet pouvant aussi les insérés à partir de cette interface.

Intervenants du projet		
<b>Maître d'ouvrage</b>		
Société	EFIDIS	✗
Commentaire	<input type="text"/>	
<a href="#">Ajouter une société</a>		
<b>Maître d'œuvre</b>		
Société	Partenaires Architectes	✗
Commentaire	<input type="text"/>	
<a href="#">Ajouter une société</a>		
<b>Economiste</b>		
Société	ATEEC	✗
Commentaire	<input type="text"/>	
<a href="#">Ajouter une société</a>		
<b>Bureau d'études</b>		
Société	Hydraeco	✗
Commentaire	<input type="text"/>	
<a href="#">Ajouter une société</a>		
<b>Bureau de contrôle</b>		
Société	Socotec	✗
Commentaire	<input type="text"/>	

Figure 4.32 – Insertion des intervenants sur Chorus [28]

Les documents comme les feuilles de lancement, les mises à jour, les détections de risques ou encore les feuilles d'analyse de risque sont aussi associés à chaque projet. Ces documents possèdent aussi un statut d'état d'avancement et permettent aux responsables d'affaires d'ajouter des commentaires sur l'avancement du projet. Mais il est peu utilisé car les intervenants abonnés aux projets ne reçoivent pas les alertes des modifications des documents.

L'un des principaux documents est la feuille de lancement qui permet d'informer tous les intervenants des caractéristiques de l'affaire (Figure 4.33).



**TYPE D'ÉTUDES**

Etude: COMMERCIALE

**TYPE DE PROJET**

Projet: Neuf Réha Mixte Non renseigné

Informations Complémentaires: "y""y"y"y

**DESCRIPTION DE L'OPERATION FUTURE**

ZAC: t|thej

Nombre de logements (U): 0

Surface habitable (M2):

Surface hors œuvre (M2 logement):

Nombre de pièce moyen: 0

Commerces (M2):

Commerces (M2): oui non Non renseigné

Commerces - Surface utile (M2):

Commerces - Surface hors œuvre (M2):

Bureaux (M2):

Publier la feuille: "Feuille de lancement HAS NEUF"

Figure 4.33 – Feuille de lancement [28]

Un autre document important pour une étude est l'analyse de risques (Figure 4.34). Elle comprend les principaux groupes de risques d'un projet.

**Analyse de risque**  
GUYANCOURT Rue Victor Baltard, EFIDIS

**Intervenants internes** ... Et leurs délégués

Commercial(RCA)  
Etude de prix(REPMA)  
Bureau d'étude(RBEA)  
Travaux(RT)

**Transfert**

Vieas niveau III		Bouclage niveau II	
AC	<input type="checkbox"/> Caroline BERNELLE	AC	<input type="checkbox"/> Avertis non renseigné
REPMA	<input type="checkbox"/> Grégory LIVA	REPMA	<input type="checkbox"/> Avertis non renseigné
RBEA	<input type="checkbox"/> Olivier PIERRON	RBEA	<input type="checkbox"/> Avertis non renseigné

**Synthèse Technique**

Vieas niveau III		Bouclage niveau II	
AC	<input type="checkbox"/> Caroline BERNELLE	AC	<input type="checkbox"/> Avertis non requis
REPMA	<input checked="" type="checkbox"/> Grégory LIVA	REPMA	<input type="checkbox"/> Avertis non requis
RBEA	<input checked="" type="checkbox"/> Olivier PIERRON	RBEA	<input type="checkbox"/> Avertis non requis

Dernière publication le 19 nov. 2009

Observations	N	S	1	2	3	Délai	A lever avec	Suivi par
	E	0						
<b>1-ELEMENTS GENERAUX-Detection de risque</b>								
Implantation								RT
Permis de construire (ABF)								RC
Moyens / Référé préventif								
constat d'huissier								
Tiers "sensibles" (horaires, bruits, vibrations, poussières...)								
Pièces marché : manques ou contradictions								RC
Garanties spécifiques / Biodiversité								
Insertion								
DICT								
<b>1-ELEMENTS GENERAUX-Analyse de risque</b>								

Non examiné

Figure 4.34 – Analyse de risque [28]

Chaque groupe possède plusieurs champs associés à un niveau d'importance du risque. Un champ qui est important dans ce document est l'affectation de qui pourra éliminer ce risque une fois que l'action ou les actions définies seront réalisées.

Sur la plateforme Chorus il est aussi fait une gestion de droit en séparant les documents publics des autres ainsi que les droits d'éditer un document. Pour créer une nouvelle affaire la plateforme offre la possibilité de choisir l'arborescence qui s'adapte à la phase d'avancement du projet.

Le principal problème de l'utilisation de cette plateforme est dû au faible niveau d'automatisation des actualisations des données. La plateforme existante ne possède pas de système d'alerte pour que les utilisateurs abonnés aux affaires s'actualisent de l'avancement du projet. Les mises à jour et les retards ne sont pas automatiquement actualisés dans le planning. Tout cela est essentiellement dû à la dispersion de l'information, ce qui en travaillant sur un référentiel unique permettrait de résoudre en grande partie ces problèmes.

## 5

## Développement des tâches

## 5.1. MAQUETTE MULTI-METIER ET MULTI-PHASE

## 5.1.1. ACTIVITES REALISEES POUR LA MIL

Les activités réalisées pour le développement de ces deux gabarits peuvent être décomposées en deux phases. La première est associée à la MIL où il a été créé un fichier contenant tous les filtres, la création d'un fichier avec l'ensemble des légendes, des côtes, des types des textes et de cartouche. La deuxième est associée à la réalisation des familles de la MIL Architecte.

## 5.1.1.1. FILTRES

Pour créer le fichier avec l'ensemble des filtres (Tableau 5.1) il a fallu consulter les anciens gabarits de chaque cellule et les projets où des filtres ont été créés. Les filtres sont insérés dans le fichier Excel comme ils sont disposé sur le logiciel Revit, avec le nom du filtre, la catégorie, les conditions et les valeurs de ces conditions, tout cela en les associant à chaque métier.

Tableau 5.1 – Partie du fichier des filtres

1	Nom filtre	catégories	Parametre co	Condition	Valeur condition 1	Parametre	Condition 2	Valeu	Co	BE	AP	Therm	EdP	CES	Synthes	BE_EXE	Méthode
1228	Synth_VMC_Rejet	Raccords de can	SYN_Condui_Typ	égal	VMC	SYN_Fonction	égal	Rejet							oui		
1229	Synth_VMC_Rejet	Raccords de Cher	SYN_Condui_Typ	égal	VMC	SYN_Fonction	égal	Rejet							oui		
1230	Synth_VMC_Rejet	Raccords de conc	SYN_Condui_Typ	égal	VMC	SYN_Fonction	égal	Rejet							oui		
1231	Synth_VMC_Rejet	Raccords de gain	SYN_Condui_Typ	égal	VMC	SYN_Fonction	égal	Rejet							oui		
1232	Synth_VMC_Rejet	Système de gain	SYN_Condui_Typ	égal	VMC	SYN_Fonction	égal	Rejet							oui		
1233	Synth_VMC_Rejet	Systèmes de can	SYN_Condui_Typ	égal	VMC	SYN_Fonction	égal	Rejet							oui		
1234	TH Chape acoustique avec Ass	Plafonds	ID Element	égal	Chape acoustique avec Assour 40 mm							oui					
1235	TH Chape acoustique avec Ass	Plafonds	ID Element	égal	Chape acoustique avec Assour 50 mm							oui					
1236	TH Chape acoustique avec Dom	Plafonds	ID Element	égal	Chape acoustique avec Domisid 40 mm							oui					
1237	TH Chape acoustique avec Dom	Plafonds	ID Element	égal	Chape acoustique avec Domisid 60 mm							oui					
1238	TH Chape armée 60 mm	Plafonds	ID Element	égal	Chape armée 60 mm							oui					
1239	TH Trémières de gaines	Plafonds	ID Element	égal	Trémières de gaines							oui					
1240	Trad	Cossature	préfa	n'est pas égal	Oui								oui				
1241	Trad	Sols	préfa	n'est pas égal	Oui								oui				
1242	Trémières	Plafonds	ID Element	n'est pas égal	Trémières						oui						
1243	TS	Cossature	Nom du type	contient	TS									oui			
1244	Vericaux préfa	Eléments de déta	préfa	égal	oui											oui	
1245	Vericaux préfa	Murs	préfa	égal	oui											oui	
1246	Vericaux préfa	Poteaux porteurs	préfa	égal	oui											oui	
1247	VF16 (2)	Murs	Nom du type	égal	Voiles façade 16									oui			
1248	VF18(1)	Murs	Nom du type	égal	VF18									oui			
1249	VF20	Murs	Nom du type	égal	VF20									oui			
1250	VI RSD 20	Murs	Nom du type	égal	VI RSD 20									oui			
1251	VI TB20	Murs	Nom du type	égal	VI TB20									oui			
1252	VIC2F	Murs	Nom du type	égal	VI C2F20									oui			
1253	voile façade	Eléments de déta	ID Element	contient	façade	ID Element	ne contient pas	PP									oui
1254	voile façade	Murs	ID Element	contient	façade	ID Element	ne contient pas	PP									oui
1255	voile JD	Eléments	polystyrène en JD	égal	oui												oui
1256	voile JD	Eléments de deta	polystyrène en JD	égal	oui												oui
1257	voile JD	Murs	polystyrène en JD	égal	oui												oui
1258	voile JD	Poteaux porteurs	polystyrène en JD	égal	oui												oui
1259	voile refend	Eléments de deta	ID Element	contient	refend												oui
1260	voile refend	Murs	ID Element	contient	refend												oui
1261	Voiles de façade	Murs	ID Element	égal	Voiles de façade								oui				

Une fois que tous les filtres ont été insérés dans le fichier central, il a été vérifié l'existence de doublon ou des filtres similaires. Le nombre de filtre obtenus est assez grand et il faut les réunir dans un seul fichier pour les dénombrer. Avant le tri des filtres le fichier contenait plus de 1400 filtres. Le tri a

permis d'en conserver un peu moins de 1250 mais dans ces 1250 filtres plusieurs filtres ont été identifiés comme possible doublon, même s'ils ne sont pas exactement identiques il semble filtrer quasiment les mêmes éléments. La grande partie de ces filtres est créée pour la phase d'exécution, pour le BE et les méthodes. Le BE a la nécessité de créer de nombreux filtres car le logiciel ne permet pas de distinguer sur la même vue deux étages, ce qui fait qu'ils sont obligés de répéter quasiment tous les filtres pour chaque étage. La cellule méthode quant à elle, a besoin de plusieurs filtres pour principalement distinguer les jours de coulage.

#### 5.1.1.2. ANNOTATIONS

Dans le même objectif de créer d'unifier et d'homogénéiser les données, il a été créé une feuille avec les types de textes et les cotes utilisées dans les différentes cellules (Figure 5.1). Comme pour les filtres, une analyse a repéré l'existence de doublons et les types d'annotations qui pourraient être rassemblées avec d'autres métiers.

	Métiers	Plumier Plancher Béton	Carrière	Bâtiment	MIL
Cotes					
Texte	<p>Texte</p> <p>Note Textuelle 25 mm gras</p>	<p>Note Textuelle 25 mm gras</p>	<p>Note Textuelle 25 mm gras</p>	<p>Note Textuelle 25 mm gras</p>	<p>Note Textuelle 25 mm gras</p>

Figure 5.1 – Feuille avec l'ensemble des côtes et textes

La même analyse a été menée pour les légendes, comme il est possible de le voir sur la figure suivante. Les légendes sont très distinctes d'un métier à l'autre, il existe des cas où les mêmes types de murs ont des légendes différentes.

Dans ce cadre les légendes ont été homogénéisées. Un des travaux fait a été le passage des composants en zone remplie. Le bénéfice aperçu de cette tâche est le fait est que les zones remplies sont plus adaptables aux légendes que les composants car les composants sont difficilement liés aux éléments des projets au contraire des zones remplies.

L'uniformisation des types de légende en zone remplie a permis de remplir le paramètre « IdElement », afin d'assurer et d'automatiser les légendes en lui associant un gabarit de vue. A chaque modification la légende est ainsi actualisée automatiquement.

Des raccourcis commandes clavier ont été créés mais ne sont pas toujours utilisés car chaque collaborateur a déjà des habitudes pour utiliser les commandes de logiciels. La figure suivante offre une vision des quantités de légendes que chaque métier utilise.


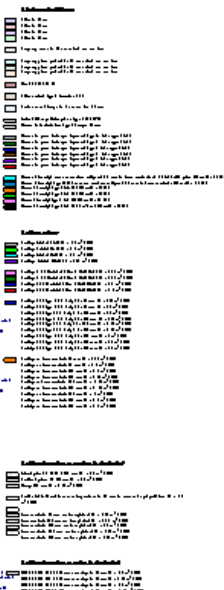


Methodes	Etude de Prix/thermique/BEap	Conforme	Be Exe
			

Figure 5.2 – Centralisation des légendes

### 5.1.1.3. CARTOUCHES

La création des cartouches est aussi une démarche qui vise l'homogénéisation de toutes les cellules et l'amélioration de l'exploitation de la maquette. Il a été réalisé deux cartouches types, un cartouche en A4 pour les grands formats et un autre plus petit pour les feuilles A3. La première partie de cette démarche était d'analyser tous les cartouches et leurs paramètres respectifs.

Initialement l'objectif était de créer un seul et unique cartouche avec le maximum de paramètres en commun afin d'éviter les ressaisies. Mais le cartouche ainsi créé n'est pas pratique car il est trop lourd et les modifications ponctuelles sont très difficiles à réaliser. Ainsi il a été préférable de créer un cartouche pour chaque métier qui fait apparaître uniquement les besoins du métier mais avec une seule base de données commune.

Un des aspects importants est d'assurer que les paramètres sont communs à tous les métiers. Pour cela il faut les insérer dans la catégorie information du projet. Ainsi à partir du moment où le premier utilisateur insère les informations comme le nom du projet, le code commercial, le maître d'ouvrage ou autre, il sera automatiquement rempli dans les cartouches des différents métiers.

Ces cartouches incorporent également des paramètres de visibilité pour que les utilisateurs aient juste à cocher la version qu'ils souhaitent visualiser sans le modifier manuellement. Par exemple le cartouche de la cellule conforme produit actuellement une dizaine de plans différents (Figure 5.3). De plus les projets ont souvent plus d'un bâtiment donc le nom du bâtiment doit être modifié aussi manuellement, et le fait que ces cartouches doivent aussi indiquer la phase d'avancement de la maquette aussi contribue pour que les modifications manuelles soient nombreuses.

Avec les paramètres de visibilité associés à des paramètres de famille ces modifications figurent en liste déroulante pouvant ainsi cocher les paramètres désirés, pour les bâtiments il a été créé un type de

cartouche par bâtiment ainsi lors du choix du type de cartouche le nom du bâtiment sera automatiquement lié.

The screenshot displays a software interface for managing building data. On the left, a form titled 'BY\_NomProjet' contains fields for 'Niveau', 'Coté', 'Dessiné', and 'Révisé'. Below this, there are sections for 'Localisation' (a map), 'Image' (a building rendering), and 'Adresse'. On the right, a panel titled 'Nom: BatimentA' shows a list of parameters and their values. The parameters are organized into sections: 'Cotes', 'Général', and 'Autre'. The 'Cotes' section includes 'Hauteur (par d)', 'HauteurImpr', 'HauteurMax (r)', and 'Largeur (par d)'. The 'Général' section includes 'Facade (par d)', 'Plan de cotati', 'Pres. Globale (', 'Repérage (par', 'Repérage Synt', 'Repérage et M', 'Repérage et M', 'Repérage et M', 'Repérage et M', and 'RepérageVenti'. The 'Autre' section includes 'BatimentA', 'BatimentB', 'Bâtiment C', and 'Bâtiment D'. A right-hand sidebar contains buttons for 'Types de familles' (Nouveau..., Renommer..., Supprimer), 'Paramètres' (Ajouter..., Modifier..., Supprimer, Déplacer vers le haut, Déplacer vers le bas), 'Ordre de tri' (Croissant, Décroissant), and 'Tables de consultation' (Gérer...).

Figure 5.3 – Cartouche conforme avec ses paramètres de visibilité

Pour les métiers utilisant une grande variété de dimensions d'impression, il a été créé des paramètres d'occurrence pour adapter l'impression à la feuille et fixer le cartouche dans l'angle inférieur droit avec des cotes bloquées (figure 5.4)

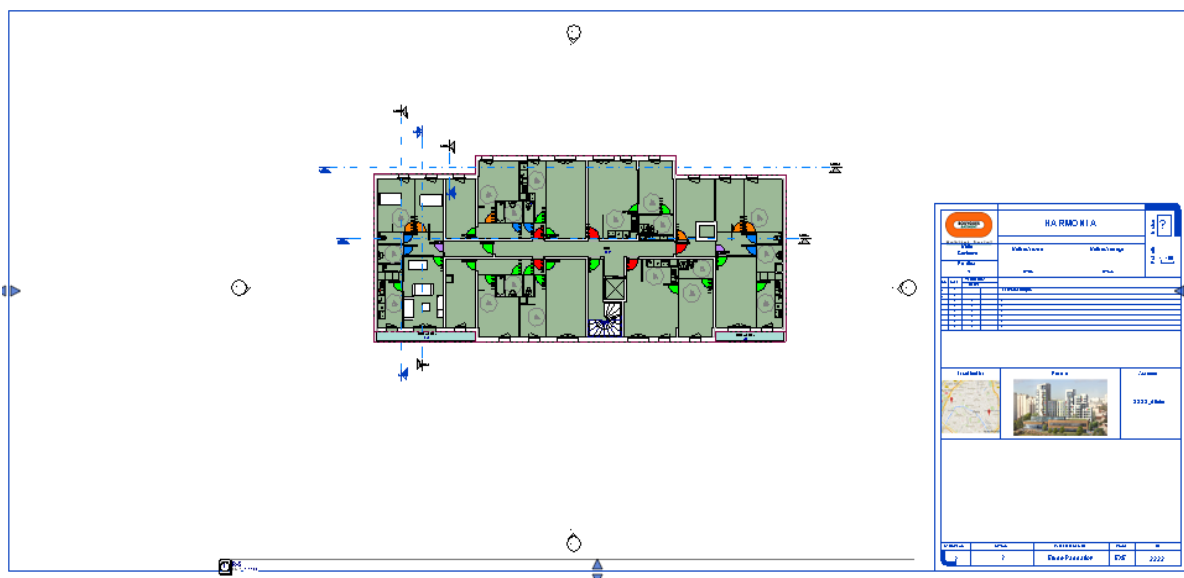


Figure 5.4 – Cartouche adaptable

Afin de garantir que tous les utilisateurs sachent travailler avec ces cartouches il a été produit un Guide. Ce guide est disponible dans l'Annexe A.

Ce guide fournit une explication sur comment est créé un paramètre et comment l'insérer dans le projet. Ainsi il est garanti que tous les collaborateurs remplissent correctement les paramètres et sont capables d'en créer face aux nouveaux besoin.

#### 5.1.2. ACTIVITES REALISEES POUR LA MIL\_ARCHI

Pour créer cette nouvelle maquette qui vise les phases amont du projet, il a fallu analyser les principaux besoins des entreprises associées. La première difficulté rencontrée est que chaque architecte à sa façon de travailler et de modéliser, il faut donc analyser plusieurs maquettes afin de comprendre ce que les architectes souhaitent essentiellement retirer de la maquette. Tout cela doit être compatible avec les outils de l'entreprise afin de permettre l'extraction de données de façon plus efficiente.

Pour le développement de cette maquette la principale tâche réalisée a été la création de plusieurs familles avec la personnalisation de leur matériaux et la création de plusieurs nomenclatures. Ces familles ont été créées dans le but de faciliter et d'augmenter la rapidité de modélisation pendant cette phase.

Une des décisions importantes prises pour le développement de la maquette a été de réduire le nombre de familles à incorporer dans la MIL\_Archi laissant uniquement les solutions plus communes. Les principaux types de familles créés sont :

- Voiles de façades ;
- Voiles non isolés ;
- Voiles intérieurs et doublages ;
- Voiles infrastructure;
- Planchers ;
- Fondations ;
- Fenêtre ;

##### 5.1.2.1. LES VOILES ET PLANCHERS

Les voiles de façades ont été créés en murs multicouches permettant à l'architecte de modéliser en une seule fois les différentes couches du mur. Dans ce groupe il a été construit 7 murs différents, avec des solutions en ITI, ITE et un sans doublages (murs des balcons). Exemple : murs multicouches créés avec une couche en voile de béton, une couche d'isolation thermique intérieure et une couche finition extérieur en enduit (Figure 5.5).

La création de ces murs doit être rigoureuse afin d'obtenir le maximum de précision. Une fois que les couches ont été insérées, il leur est attribué un matériau, une épaisseur, un retournement et la fonction qu'il a dans le mur multicouche. Le retournement est actuellement uniquement utilisé pour perfectionner le rendu de l'architecte car il n'est toujours pas possible d'extraire des quantités exactes de la couche de finition car le logiciel ne calcul pas les retournements.

Définir quel est le matériau structurel et principalement l'ordre de priorité est essentiel pour assurer l'ordre de priorité lors des interceptions entre plusieurs murs. Sur la Figure 5.5 il est possible d'observer que le logiciel attribue un ordre de priorité selon la fonction du mur. Il est également possible d'observer qu'il existe deux lignes sans fonction associée, ce sont les limites de la couche

principale du mur, cela est représenté par les deux lignes vertes (à gauche de l'image). La localisation de ces lignes est de grande importance pour la partie de la modélisation.

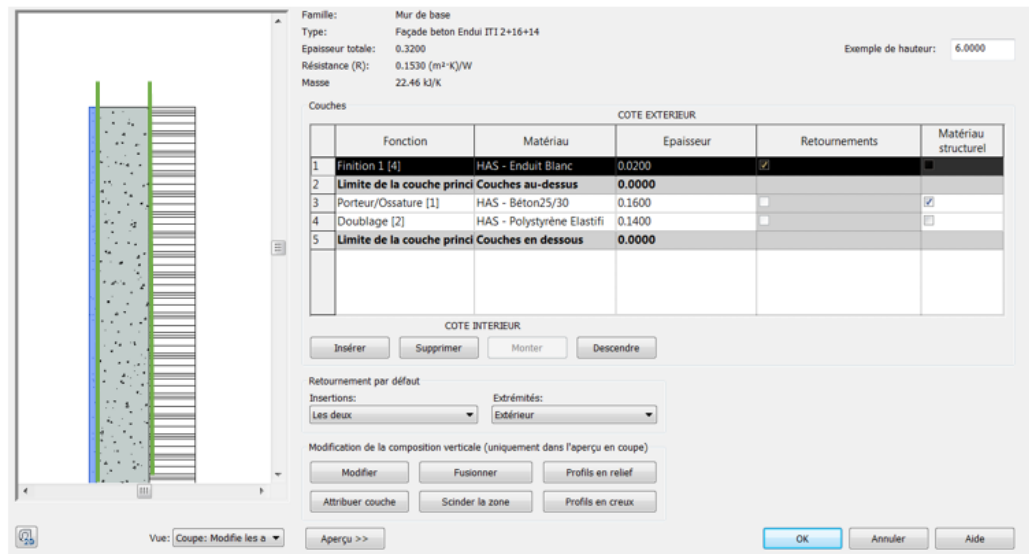


Figure 5.5 – Exemple: murs multicouches créer avec une couche en voile de béton, une couche d'isolation thermique intérieure et une couche finition extérieure en enduit

Les informations des matériaux ont été insérées afin d'enrichir le fichier central et pouvoir dans un futur proche exploiter ces informations lors des échanges entre le fichier central et les logiciels spécifique métiers. Par exemple si sur le logiciel de modélisation les propriétés physiques du béton C25/30 sont insérées lors de l'exportation vers un logiciel qui permet de réaliser la décente de charge les propriétés sont directement reconnues par le logiciel. Pour une exportation vers un logiciel de STD il est important de ne pas oublier d'insérer les propriétés thermiques des matériaux. Tout cela est réalisable une fois que l'interopérabilité des logiciels est totalement garantie. Autodesk fournit une vaste liste de plusieurs matériaux avec leurs propriétés qui facilite l'insertion des données.



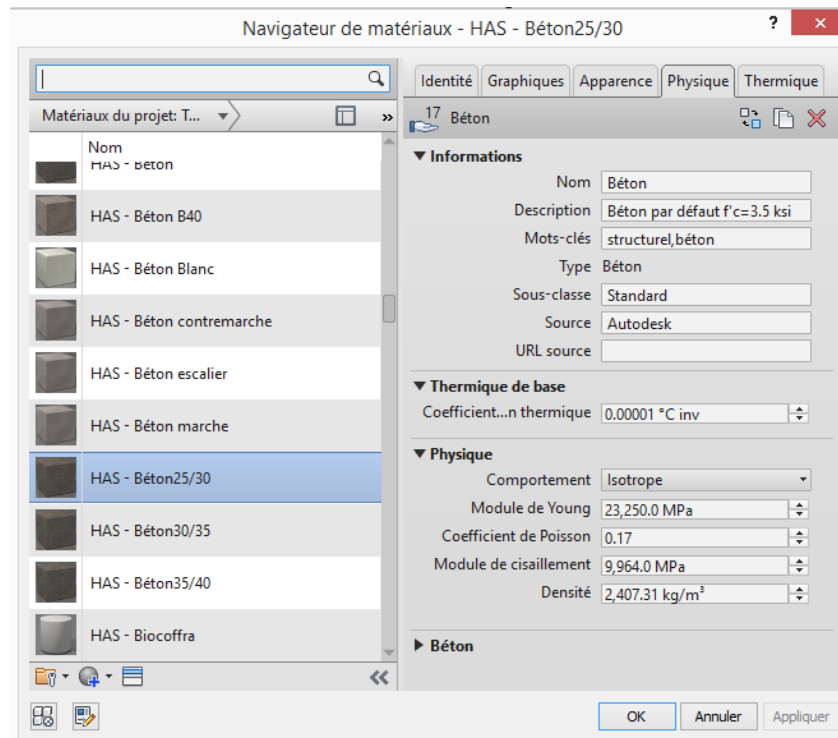


Figure 5.6 – Caractérisation du béton C25/30

Il a été réalisé un guide pour assurer que tous les collaborateurs travaillent correctement avec les familles créées (Annexe A1 et Annexe A2).

Les autres éléments comme par exemple les voiles intérieurs, les planchers ou encore les voiles intérieurs ont été créés avec la même logique.

L'exportation des métrés de la maquette numérique vers les outils de chiffrage est établie à partir des macros et des nomenclatures donc il faut adapter toutes les modifications réalisées.

Les maquettes précédemment produites par les collaborateurs de la DIP sont organisées à partir des paramètres partagés qui permettent de ranger chaque type d'élément dans une nomenclature, cette maquette suit la même logique mais avec des relevés de matériaux.

Les paramètres partagés permettent de distinguer chaque mur mais dans ce cas il est nécessaire de distinguer chaque couche, et pour cela il n'existe pas de paramètre qui permette de créer une nomenclature pour chaque couche. Les tableaux construits à partir des relevés de matériaux sont filtrés à partir du nom du matériau afin d'obtenir uniquement la quantité d'une couche du mur.

#### 5.1.2.2. FAMILLES DE FENETRES ET DE FONDATION

Les fenêtres ont été modifiées aussi afin de mieux s'adapter aux murs multicouches (voir Figure 5.7). Pour cela il a été nécessaire d'associer la fenêtre à la couche porteuse et de lui associer des paramètres d'occurrence afin que l'utilisateur puisse adapter la position de sa fenêtre.

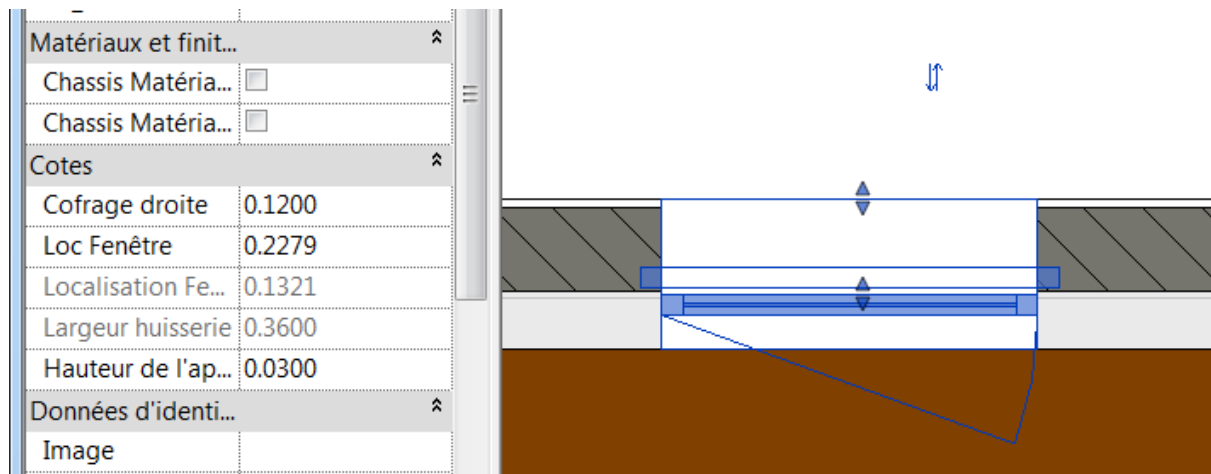


Figure 5.7 – Famille de fenêtre MIL\_Archi

Cette famille de fenêtre permet d'adapter rapidement la position de la fenêtre dans le mur. L'utilisateur peut l'adapter directement sur la famille ou l'insérer dans les propriétés de la famille en remplissant le paramètre « Loc Fenêtre ».

Pour cette phase du projet les fondations ne sont pas modélisées dans la maquette car cela entraîne une perte de temps et l'affaire n'est pas encore gagnée. Cependant une famille a été construite. Cette famille est une forme géométrique avec plusieurs paramètres qui permettent d'insérer dans la maquette l'information essentielle des résultats obtenus.

La définition de la géométrie n'est pas précise elle sert uniquement pour indiquer la surface et la profondeur des fondations comme il peut être vu en observant la figure suivante.

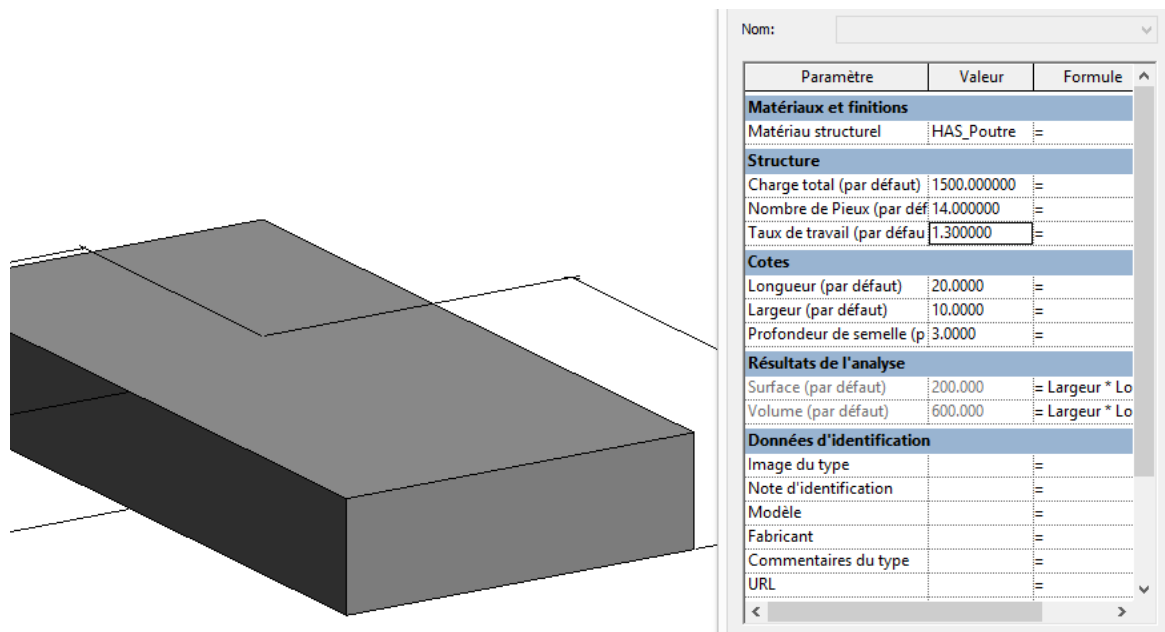


Figure 5.8 – Famille de fondation

### 5.1.2.3. NOMENCLATURES

Plusieurs nomenclatures ont été créées dans le but d'encourager les architectes associés à utiliser la maquette sans pour autant nuire à l'utilisation de la maquette par les collaborateurs de l'entreprise. Ces nomenclatures sont facilement transférables d'une maquette à l'autre, soit avec des paramètres comme l'ID\_Nomenclature ou alors avec des champs masqués pour les architectes. L'image suivante montre les nomenclatures créées tout au long du développement de la maquette.

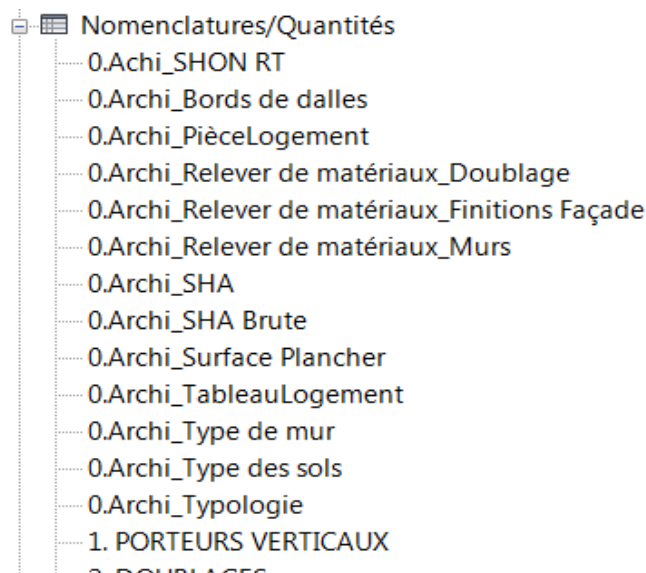


Figure 5.9 – Nomenclatures du MIL\_Archi

Les nomenclatures créées sont organisées dans l'arborescence avec un préfixe commun « 0.Archi\_ » afin que tous les intervenants identifient intuitivement les nomenclatures qui visent cette phase du projet.

## 5.2. APPLICATIONS DE LA MAQUETTE INTEGREE LOGEMENT

### 5.2.1. DESCRIPTION DU PROJET

Le cas utilisés pour l'application de ces deux gabarits est un concept-building qui centralise le savoir-faire de l'entreprise afin d'offrir aux clients les solutions les plus économiques possible sans jamais sacrifier les contraintes d'une opération type de logement social francilien et ainsi atteindre un rapport qualité/prix le plus compétitif possible (Figure 5.10). Le marché du secteur du logement social a actuellement de grands challenges devant lui car les bailleurs sont de plus en plus nombreux. Dans ce cadre il est impératif de construire au meilleur coût, en optimisant les délais et la qualité. Afin d'optimiser le prix du m<sup>2</sup> habitable l'entreprise a suivi une stratégie qui adopte plusieurs leviers :

- Choix des matériaux de construction au meilleurs prix dû à la standardisation et aux grandes quantités des achats réalisés par la centrale Bouygues Construction ;
- Bâtiments compacts permettant d'optimiser les prix de façade et une diminution d'isolant ;
- Minimisation du nombre de gaines ;
- Maximisation de la surface habitable.

Les principaux matériaux utilisés sont principalement le béton et le bois, cette étude a utilisé uniquement le béton car le même principe peut être appliqué au bois. Ce projet intègre des concepts

intéressants comme la modularisation et la préfabrication, un exemple de modularisation est la standardisation des dimensions des planchers et des refends sur des trames de six mètres. La préfabrication est aussi intégrée dans ce projet, pas à une échelle aussi grande que d'autres projets réalisés par l'entreprise mais intègre déjà quelques éléments importants comme les salles de bains. La modularisation et la préfabrication sont deux leviers essentiels pour l'industrialisation.

Les plans conçus arrivent à obtenir un rendement SHA/SHO de 0.92, cela est un aspect qui est fortement pris en compte par les clients car d'une certaine façon l'optimisation de ce ratio est directement liée à la rentabilisation de l'investissement car la SHA est la surface « vendable » au client.



Figure 5.10 – Vue 3D Harmonia

Plusieurs solutions ont été proposées avec des variantes, entre autres, de qualités, de prix et de dimensions. La solution étudiée est composée de 8 étages, Rez-de-Chaussée+ 6 étage courant+ 1 parking sous-sols, au total il existe 44 logements avec une majorité de typologie T3 et une surface moyenne de 65m<sup>2</sup>.

#### 5.2.2. MODELISATION

La modélisation du *concept-building* a été réalisée avec la version allégée du MIL afin de pouvoir tester les familles créées. La modélisation du projet ne permet pas seulement de tester les familles et leurs capacités à s'adapter aux différentes affaires mais aussi à analyser si les nomenclatures remontent correctement sur les outils de chiffrage.

Pour commencer la modélisation il est nécessaire d'importer ou lier le projet fait par l'architecte utilisant le logiciel *Autocad*. La différence entre importé ou lié le projet provenant du logiciel de CAO est l'actualisation du fichier *Autocad* dans le logiciel *Revit*, uniquement si le Fichier *Autocad* est lié et non importé dans *Revit*.

Souvent, l'origine du plan est éloignée du projet et une fois que le projet est importé celui-ci est introuvable, pour éviter ce problème il faut réajuster l'origine du plan au centre du projet (Figure 5.11).

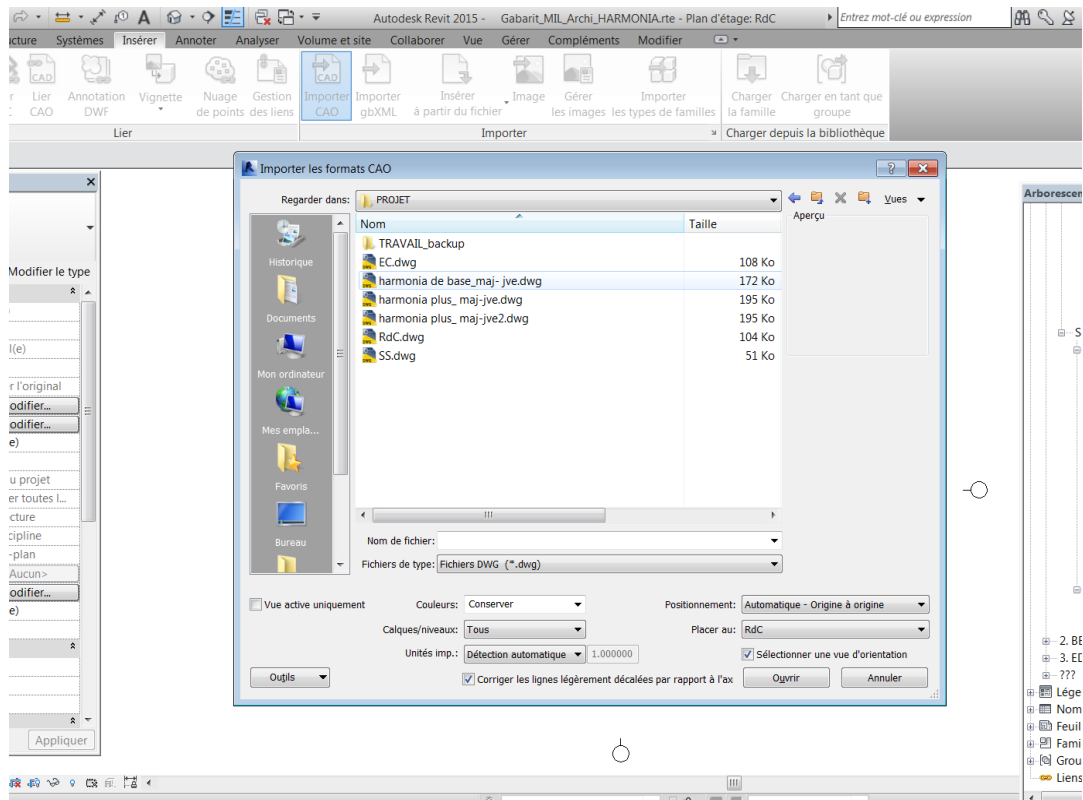


Figure 5.11 – Import du fichier CAD

La modélisation du projet sera réalisée en se basant sur les plans en 2D qui sont importés sur le fichier Revit. Pour modéliser le projet il faut respecter la charte de l'entreprise pour être en accord avec les méthodologies de chiffrage interne. Ainsi le projet doit être modélisé comme il est représenté sur la figure 5.12.

Une modélisation bien faite est importante pour ne pas avoir de chevauchement entre les différents éléments et obtenir les quantités le plus précises possibles. Donc pour respecter la charte les voiles extérieurs et les voiles délimitant les trémies d'ascenseur et d'escalier sont créés du dessus de dalle de l'étage inférieur au-dessus de dalle de l'étage supérieur : elles sont dessinées en niveau fini.

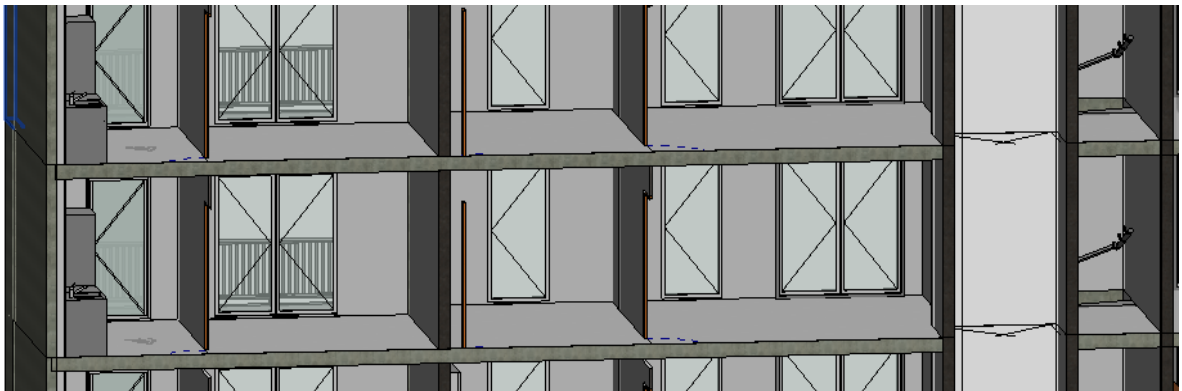


Figure 5.12 – Représentation graphique de la charte de modélisation

Les voiles intérieurs et les cloisons sont modélisés du dessus de dalle au-dessous de dalle et les doublages sont similaires aux voiles intérieurs. Les planchers sont modélisés comme l'indique l'image 5.12, les trémies d'ascenseur et d'escalier sont découpées par une ouverture de cage et les sols des balcons sont modéliser comme un sol unique. Les voiles de refend sont quasiment les mêmes modifiant seulement les rendues des voiles. Un aspect important qui permet de respecter la charte de modélisation interne est la possibilité de pouvoir attribuer une hauteur différente à plusieurs couches permettant que l'isolant et les éléments horizontaux ne se chevauchent pas, comme il peut être observé sur la figure ci-dessous.

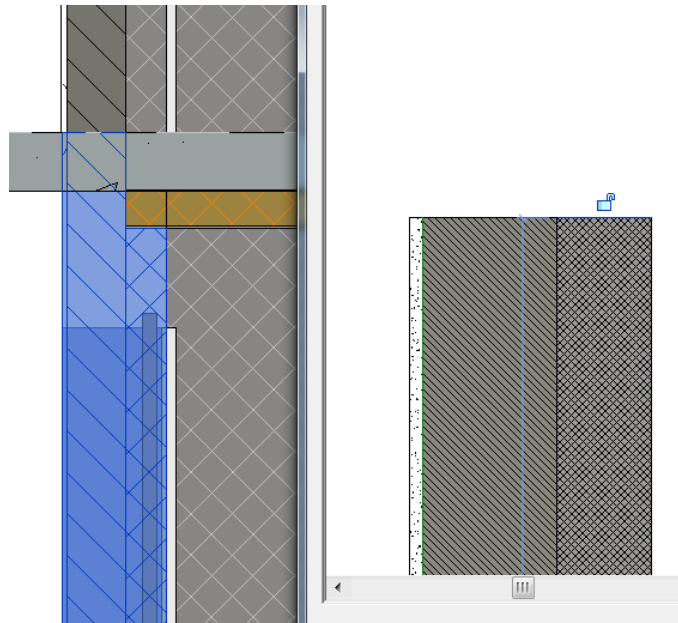


Figure 5.13 – Représentation graphique de la charte de modélisation

Les plans provenant de l'architecte sont rarement fournis avec la représentation des finitions, pour cela il a fallu adapter les familles des murs afin de pouvoir les modéliser à partir de la couche interne et prévoir son remplacement. Lors de la modélisation l'utilisateur doit faire particulièrement attention à la ligne de justification choisie pour modéliser le mur à partir de la bonne couche et pour qu'au moment du passage d'une maquette vers l'autre les murs viennent remplacer correctement les couches, comme l'indique la figure suivante.

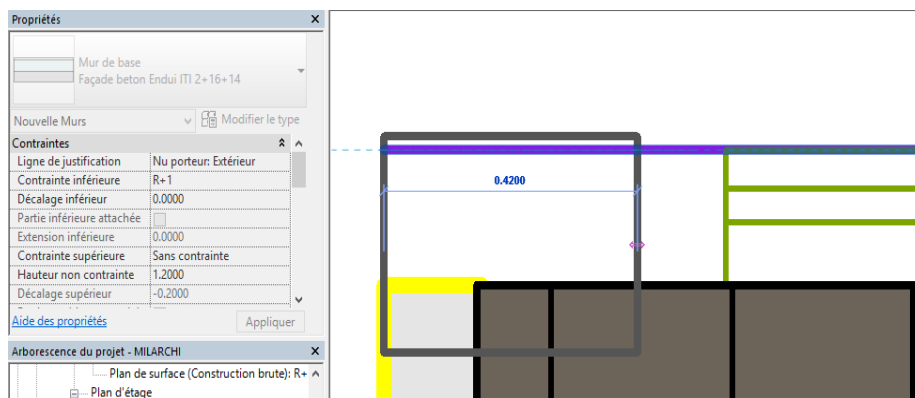


Figure 5.14 – Ajustement de la ligne de justification

La modélisation doit être faite à partir de la ligne qui sépare le mur de la finition, comme par exemple dans ce cas, comme il s'agit d'un mur du type ITI la ligne de justification choisie a été la ligne du nu porteur extérieur : la ligne qui sépare la couche de béton de la couche de finition.

L'insertion des mobiliers a été faite à partir des familles créées par la cellule conforme. Les rives de dalles aussi ont été insérées. Les escaliers ont été construits par esquisse modélisant ainsi les escaliers exactement comme sur les plans architecte.

Lors de la modélisation il est important de remplir tous les paramètres pour pouvoir vérifier si les nomenclatures créées sont compatibles avec ce qu'il a été demandé (Tableau 5.2). Ces nomenclatures permettent aux intervenants d'extraire des informations et des quantités comme par exemples les SHO, SHA et surfaces des logements.

Tableau 5.2 – Tableau avec les surfaces par logement

<0.Archi_TableauLogement>					
A	B	C	D	E	F
BY IdRatiment	BY IdEtag	BY IdTypologie	BY IdLogement	Surface	BY Surf Log
				181.84	1389.61
				0.00	
A	00		01	52.79	52.79
A	00		02	96.34	116.79
A	00		03	84.54	84.24
A	00		04	96.85	97.07
A	00		05	67.06	66.67
A	01		06	68.81	68.92
A	01		07	65.68	65.75

Par exemple cette nomenclature a permis de créer une nouvelle étiquette de pièce avec la surface par logement, ce qui est important pour les architectes (Figure 5.15). Pour cela il a été créé un paramètre partagé qui assure la liaison entre la nomenclature et la famille de l'étiquette.

Comme il est possible de l'observer sur la figure précédente ces surfaces ne sont pas automatisées car il n'est pas possible de lier une valeur calculée à un paramètre. Pour cela il a été créé un paramètre qui permet de vérifier intuitivement si les valeurs des surfaces correspondent ou pas à la réalité, en faisant la division entre le deux surfaces, si le résultat est égal à 1 c'est OK sinon non.

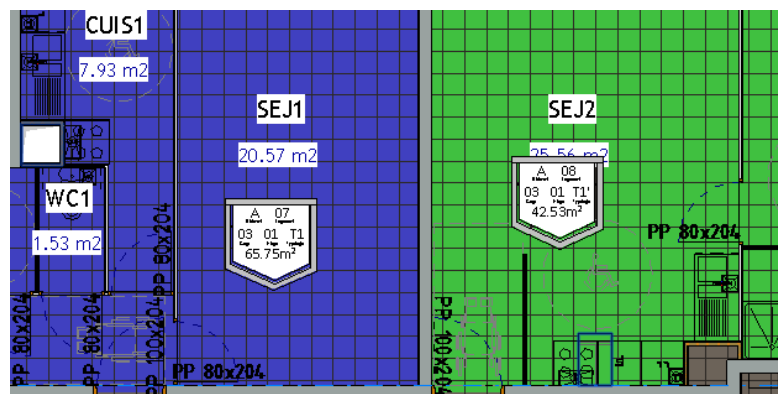


Figure 5.15 – Famille étiquette pour logements



L'un des grands bénéfices de la production de ces familles est de faciliter la transition entre les deux maquettes. La rapidité de cette transition est surtout due aux pourcentages élevés d'information récupérables qui génèrent moins de ressaisie.

### 5.2.3 COMPARAISON MIL ET MIL ARCHITECTE

Lors du transfert de la MIL vers la MIL allégée, plusieurs particularités ont été aperçues comme par exemple les contraintes d'attachement entre les voiles de façades, les voiles de refend, les doublages et les cloisons. Plusieurs tests ont été réalisés afin d'étudier quelle pourrait être la meilleure façon de passer d'une maquette vers l'autre. Le tableau suivant montre les quatre tests réalisés.

Tableau 5.3 – Les tests réalisés

Test 1	Passage de mur multicouche en élément
Test 2	Copié à l'identique et collé sur chaque couche
Test 3	Remplacer mur multicouche par la couche « porteuse »
Test 4	Remplacer mur multicouche par le doublage

L'analyse du premier test a démontré que le découpage du mur multicouche est rapide. L'inconvénient de cette méthodologie est qu'une fois le mur passé en élément il est difficilement modifiable et chaque modification nécessaire conduit à une perte de temps considérable. Pouvoir modifier rapidement la maquette est un point important car c'est pendant la phase d'étude que la MIL est le plus utilisée et les modifications nécessaires peuvent être très nombreuses.

La réalisation du deuxième test consiste à copier les murs multicouches, les remplacer par les deux couches principales et les coller une par une. Ce test permet d'avoir des quantités réaliste et est facilement modifiable. Les principaux inconvénients de cette méthode est d'exiger plus de travail, de ralentir le passage d'une maquette vers l'autre car les éléments attaché aux murs comme les portes et les fenêtres sont collées deux fois et nécessitent d'éliminer tous les éléments doublons.

Le troisième test consiste à remplacer les murs multicouches par le mur qui correspond à la couche porteuse du mur multicouche et ensuite venir modéliser le doublage contre le mur. Cette méthode permet d'adapter la MIL architecte à la MIL rapidement, avec précision et facilement modifiable. Un des inconvénients observés au cours du test est qu'il est nécessaire d'ajuster manuellement l'attachement des cloisons avec le doublage.

Le dernier test est similaire mais au lieu de remplacer le mur multicouche par le mur porteur, il est remplacé par le doublage. Dans ce cas les avantages et les inconvénients sont similaires avec l'exception, dans ce cas, d'avoir plusieurs types de murs extérieurs ce qui exige de l'utilisateur plus de temps pour chercher parmi les murs proposés. De plus les éléments liés aux murs comme les fenêtres et les portes sont associées à la couche du doublage, ce qui ne correspond pas à la réalité.



La troisième et quatrième solution sont les meilleurs compromis donc avant de finaliser le choix il a été fait un essai plus approfondi sur un étage complet. Sur un étage courant de ce projet la troisième hypothèse a permis de gagner près de 15 minutes sur 1h30m. Ce gain peut varier en fonction du type de projet : cette étude porte sur un projet du type habitation sociale. Pour un projet du type résidence étudiant qui comporte moins de cloison le gain serait un peu moins important. La solution adoptée pour continuer à développer ce travail est ainsi la troisième solution.

Les principales différences entre les deux maquettes se font sentir au niveau des murs extérieurs car les autres éléments sont facilement adaptables. Les résultats obtenus sont illustrés dans le tableau suivant :

L'analyse du tableau 5.4, montre que l'objectif de cette démarche a été accompli. Cette version de la maquette pour les logements permet de modéliser les projets plus rapidement et plus facilement. Ces deux points sont essentiels pour convaincre les architectes associés d'utiliser cette maquette pour les projets de conception-construction. Assurer une modélisation plus intuitive avec plusieurs guides mis à disposition par l'entreprise permet de rassurer les intervenants qui craignent perdre leur savoir-faire acquis sur les logiciels de CAO 2D. C'est l'un des principaux motifs pour lesquels une grande partie des architectes ne souhaite pas migrer vers le BIM. Le fait de pouvoir obtenir des gains en temps de cette méthode leur permettront aussi d'augmenter leur productivité.

La MIL Architecte permet de modéliser avec plus de rendu notamment en incorporant la couche d'enduit ou de peinture donnant ainsi une apparence plus esthétique au projet. Les familles créées par l'entreprise ont aussi un niveau de détails plus développé. L'amélioration du rendu final est important pour les phases de faisabilité et de conceptions, permettant entre autres, aux architectes et commerciaux d'aborder les réunions avec les clients de façon optimale.

Le passage d'une maquette à l'autre est rapide, dans ce cas il a fallu seulement près de 3heures, mais il faut aussi considérer le temps nécessaire pour la vérification de la qualité de la maquette après son adaptation à la MIL.

La précision des valeurs est aussi un des points qui a été optimisé, cela fait partie de l'autre objectif de cette démarche qui consiste à utiliser la maquette allégée jusqu'à l'accord avec le client. Les valeurs obtenues sont très proches entre les deux versions, au niveau des couches porteuses cet écart est dû à quelques ajustements manuels. Au niveau des doublages cet écart est dû au fait de ne pas arriver à contrôler la longueur des doublages et à chaque angle le doublage se chevauche.

Les résultats obtenus sont assez motivants, cependant il faut avoir conscience que ces résultats pourront varier à chaque projet. Les résultats obtenus, avec des petits écarts, sont le fruit de la simplicité du projet étudié. Le doublage est la couche qui a plus d'écart entre les deux maquettes, mais pour cette phase de projet cet écart n'est pas important. Pour estimer l'erreur des mètres linéaire des doublages.

Tableau 5.4 – Analyse de la MIL et de la MIL\_Archi

	Modélisation	MIL	MIL Architecte	Différences
	Temps	1,5-2J	1J	0,5-1J
	Qualité	Plus adapté aux chiffrages	Meilleur rendu pour l'architecte et le client	Adaptation des besoins à chaque phase du projet
	Faciliter	Plus de clic, plus de risque à l'erreur	Plus intuitif	
Murs porteurs	Longueur	695	694	0.1% (0,7m)
	Volume	281	280	0.1% (0,4m³)
Doublages	Longueur	725	728	0.4% (2,8 m)
	Volume	201	200	0.4% (1 m³)
	Nomenclature	Celles de base du gabarit MIL	Nomenclatures peu détaillées (visent architectes et métresseurs)	Niveau de détail plus faible mais facilement adaptable à la MIL

$$Erreur = \frac{[(4 \times Ep.couche\ proteuse) \times n^{\circ} \text{étage}]}{2} \quad (1)$$

En appliquant cela au projet du cas d'étude :

$$Erreur = \frac{[(4 \times 0.20) \times 7]}{2} = 2.8\ m\ (0.4\%) \quad (1.1)$$

Au niveau des voiles intérieurs il existe une différence due au fait que le logiciel associe les liaisons entre les voiles à partir de l'axe des voiles. Avec les murs multicouches les résultats obtenus sont plus

proche de la réalité car l'axe du mur est plus proche de la ligne du mur porteur. La différence en longueur entre les deux maquettes est égale:

$$\text{Différence} = \frac{Ep.Doublage - Ep.Finition}{2} \times \text{Nombre d'interception} \quad (2)$$

La figure ci-dessous permet de montrer que le logiciel établit une correcte jonction des murs mais cela uniquement sur l'aspect graphique.

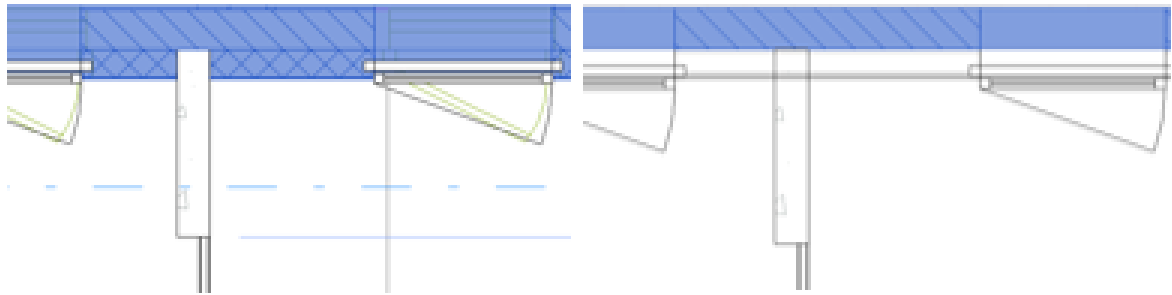


Figure 5.16 – Version MIL Architecte et version MIL respectivement

### 5.3. SIMULATION DU TRAVAIL COLLABORATIF

Pour ce projet, il a été créé plusieurs sous-projets à partir du fichier principal pour illustrer comment le travail collaboratif peut être réalisé sur le logiciel Revit (Figure 5.17). Lors du premier enregistrement il est possible définir le fichier central. Une fois que le fichier central est défini il doit être fait une copie du fichier et cette copie doit être associée à un sous-projet, ainsi chaque utilisateur a son fichier local qui est lié avec le fichier central.

Lors de la réalisation des tâches chaque intervenant a la possibilité de masquer les sous-projets qui ne sont pas nécessaire pour la réalisation de sa tâche et ainsi avoir une interface plus facile pour la modélisation.

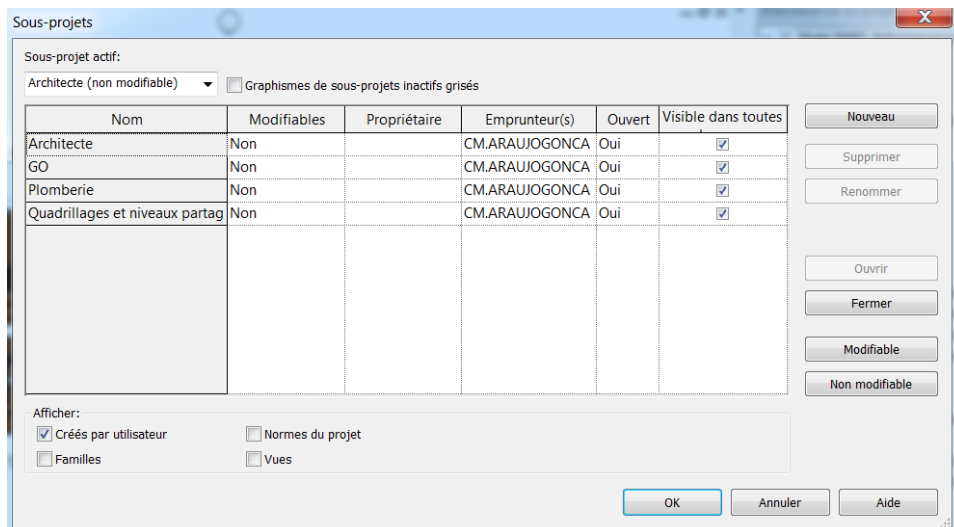


Figure 5.17 – Création de sous-projets

Cette méthode de travail oblige le propriétaire à faire plusieurs synchronisations avec le fichier principal afin que l'actualisation du fichier soit plus régulière et que les autres intervenants puissent travailler à partir des derniers avancements.

A partir de chaque sous-projet il est possible de recharger les dernières modifications facilement grâce aux fonctionnalités que le logiciel offre. La figure suivante montre quelques fonctionnalités que le logiciel Revit fournit.

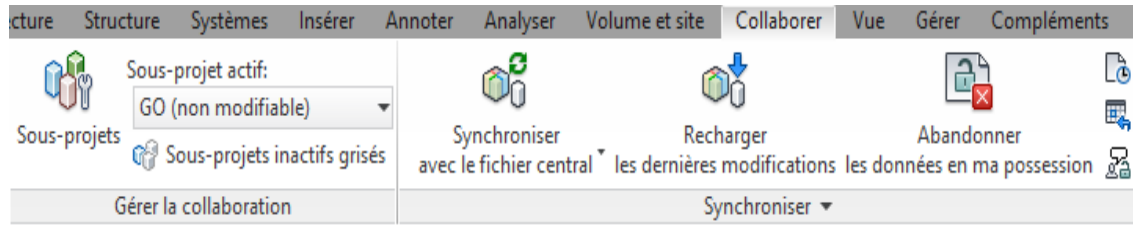


Figure 5.18 – Onglet collaboration de Revit

Cela contribue à augmenter la collaboration entre les intervenants et échanger des informations entre eux à partir du fichier central.

Avec le passage de tout l'avancement du projet par le fichier central tous les intervenants ont accès aux mêmes informations et en même temps. Ainsi l'échange d'informations entre les intervenants est plus organisé et les échanges directs entre 2 intervenants sont éliminés.

Dans le cas où l'on souhaite modifier un élément qui n'est pas associé au sous-projet le logiciel bloque l'opération.

Dans ces cas la modification est faite uniquement si l'utilisateur responsable de cet élément accepte cette modification ou si le propriétaire du fichier central affecte l'élément au sous-projet.

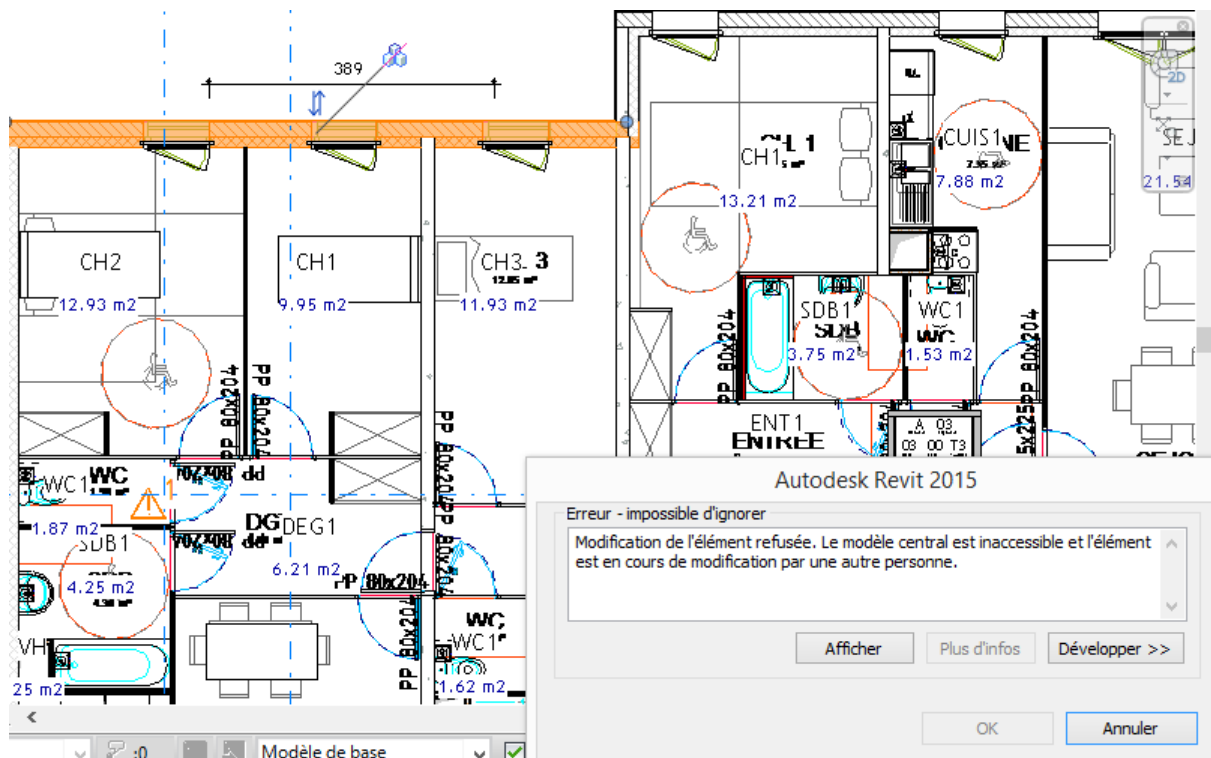


Figure 5.19 – Droit de modification

Le logiciel Revit permet aussi d'extraire directement le projet vers le format IFC (Figure 5.20). Cela est important car il est possible de visualisé le projet à partir des visionneuses IFC et principalement pour respecter les futurs normes et réglementations BIM.

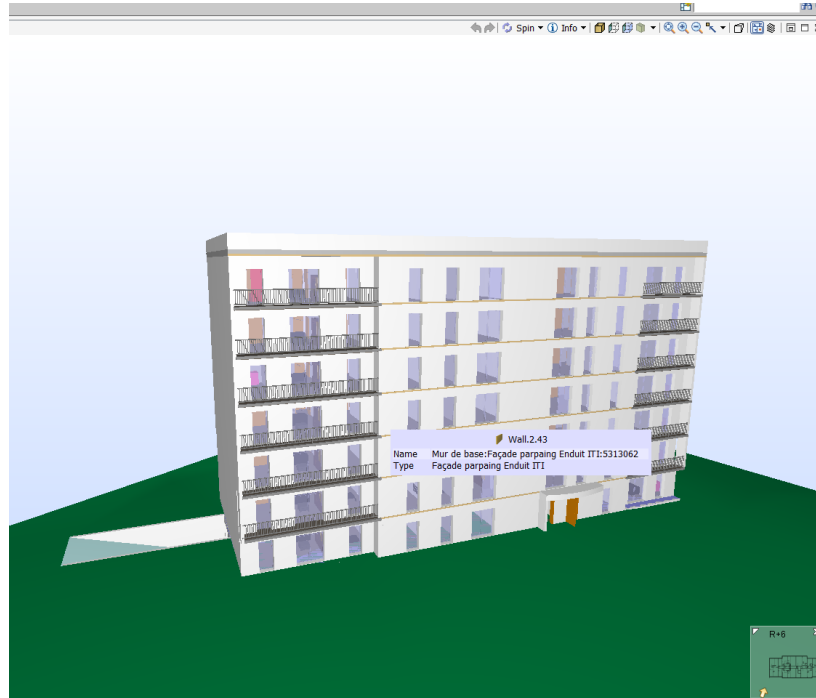


Figure 5.20 – Projet sous format IFC

Avec cela les équipes de travaux peuvent accéder au fichier principal et obtenir les principales informations dont qu'ils ont besoin, comme il peut être vu sur la figure suivante.

Wall.2.43	
Identification	Location
Quantities	Material
Profile	Relations
Classification	Hyperlinks
Pset_WallCommon	
Property	Value
Area	39.75 m2
Area (minimum)	39.75 m2
Gross Area	54.52 m2
Gross Area (minimum)	54.52 m2
Area of Doors	0.00 m2
Area of Windows	14.40 m2
Area of Openings	0.00 m2
Bottom Area	7.22 m2
Height	2.72 m
Height (minimum)	2.70 m
Length	20.05 m
Length (minimum)	20.05 m
Thickness	360 mm
Thickness (minimum)	360 mm

Figure 5.21 – Visualisation des quantités à partir des visionneuses BIM

## 5.4. TEST DE LOGICIEL PLM

Le partage de la maquette numérique est un enjeu clé pour le développement du secteur. La complémentarité du BIM avec le PLM est vue comme essentielle pour assurer un partage d'informations sur une plateforme unique. Un test a été réalisé pour analyser les avantages et inconvénients que cette liaison offre à l'entreprise en passant de la théorie à la pratique. L'entreprise et l'un des leaders mondial du marché PLM, Dassault Système, ont testé les potentialités d'implémenter les technologies PLM dans l'entreprise.

Après avoir tracé les principaux objectifs, le développement du projet a été divisé en deux parties, dans un premier temps l'objectif est de passer de la maquette 3D, modélisée avec Revit, vers la plateforme PLM et de tester la modélisation de l'outil PLM. La deuxième partie du projet est essentiellement liée aux flux d'informations utilisant l'outil PLM.

Le premier objectif est d'importer toute l'information de la maquette vers la plateforme PLM et de tester l'outil PLM pour la modélisation. Cet échange se fait à partir du format ouvert IFC, qui permet de réaliser cette importation de façon plus fiable. Le format IFC est une nouvelle fois prépondérant pour permettre l'évolution des méthodologies BIM, il permet de décomposer la maquette selon deux des principaux types de structuration, le PBS et le GBS. Cette décomposition de la maquette permet à l'outil PLM d'associer à chaque pièce détachée, chaque élément, sa localisation et sa fonction dans le projet diminuant ainsi les ressaisies.

L'étape suivante du travail correspond aux aspects liés à la modélisation utilisant l'outil de Dassault Système. Le but de cette partie du projet est d'obtenir un modèle unique qui s'est enrichi tout au long du cycle de vie d'un projet. Pour cela le projet doit passer d'une vue simple à une vue détaillée sans être remplacé mais en étant enrichi tout au long des étapes.

Avant de débiter la partie modélisation il est nécessaire d'insérer les documents internes comme la bible des métrés afin de continuer à travailler dans un référentiel unique. L'outil 3Dexperience d'Enovia permet de centraliser et répertorier plusieurs éléments qui servent de support à la modélisation, comme des murs ou des fenêtres.

Lors de l'importation du modèle sous format IFC dans le logiciel PLM le niveau de détail est faible. Par exemple les murs extérieurs sont importés comme un ensemble, un mur multicouche comme un mur avec une largeur totale. Avec ce logiciel il est possible de personnaliser les murs et de leurs attribuer les différentes couches.

Les intervenants de ce test ont paramétré les éléments afin de suivre le plus précisément possible la charte de l'entreprise ce qui permet d'obtenir les métrés exacts. Par exemple les planchers peuvent avoir un paramètre qui indique que les voiles de refend coupent la couche de chape et la quantité de chape est alors automatiquement actualisée. (Figure 5.22).

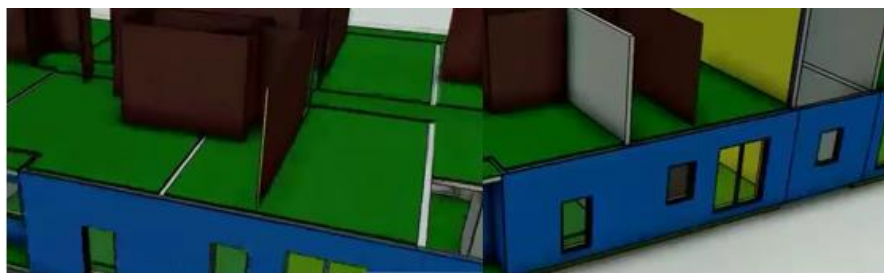


Figure 5.22 – Visualisation graphique du paramètre [28]

L'entreprise peut ainsi s'appuyer sur les différents modèles et l'enrichir afin qu'ils correspondent au besoin de l'entreprise. Cet outil permet aussi aux collaborateurs d'avoir une vision métier très simple : il offre une vision de la maquette avec une vue propre à chaque métier.

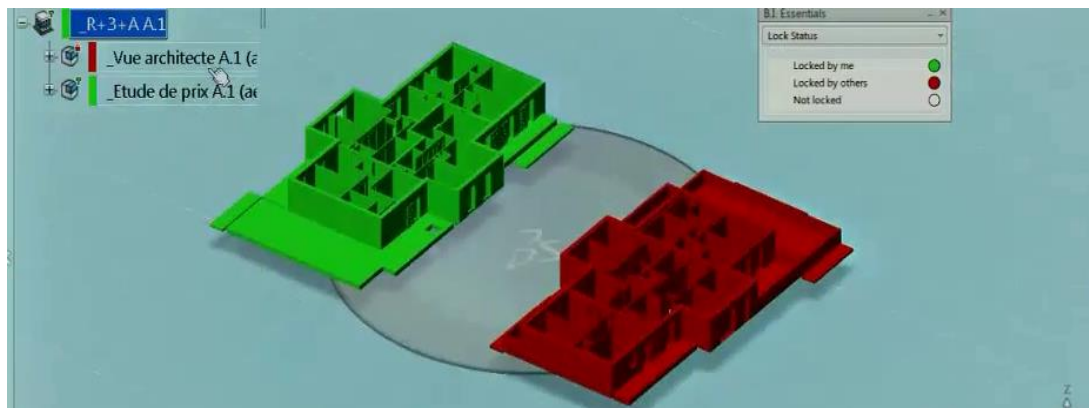


Figure 5.23 – Vue multi-métiers [28]

La modélisation est faite à partir d'un Template, ce Template est une structure de données qui sert de base pour les utilisateurs. Cette structuration de donnée est similaire à ce que Revit appelle un gabarit. L'équipe de HAS en collaboration avec l'équipe de Dassault Système ont tenu de nombreuses réunions pour créer ces Templates, les collaborateurs de HAS ont expliqué leurs besoins et leur savoir-faire aux collaborateurs de Dassault Système qui les ont traduit numériquement dans le système.

Comme pour la modélisation sur Revit il a été nécessaire d'importer le fichier Autocad. L'importation du fichier est faite à partir d'une fonctionnalité de la plate-forme PLM, cela constitue un des avantages de travailler sur une plate-forme car il n'y a pas besoin d'avoir plusieurs logiciels. L'utilisateur peut ainsi utiliser toutes les fonctionnalités qui sont dans la base de données sans à avoir à changer de logiciel. Les fonctionnalités disponibles ne sont pas les mêmes pour tous les utilisateurs, il existe des droits d'accès qui permettent aux utilisateurs d'accéder aux fonctionnalités. (Figure 5.24).



Figure 5.24 – Quelques fonctionnalités de l'outil PLM [28]



Une fois les plans 2D insérés dans l'outil PLM, il est possible de modéliser à partir de ces plans et des éléments déjà créés et paramétrés afin d'assurer que toutes les informations nécessaires au développement du projet sont insérées dans la base de données. La modélisation sur l'outil PLM est différente de celle effectuée sur Revit. Dans l'outil PLM la modélisation est faite à partir des lignes des plans 2D et il est rempli une série de paramètres qui permet de donner au logiciel les caractéristiques des murs. La figure ci-dessous montre comment un mur est caractérisé.

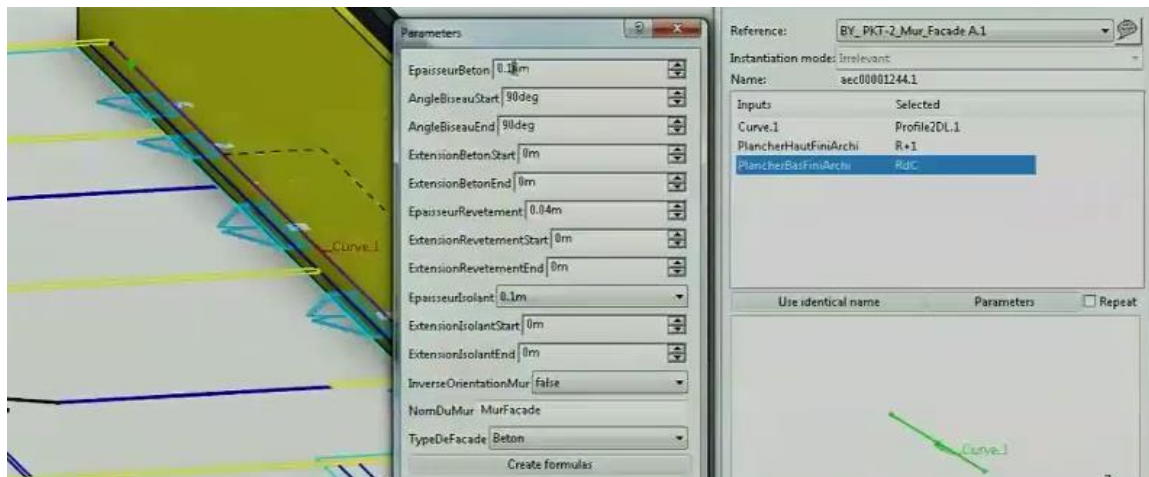


Figure 5.25 – Paramètres des murs [28]

Avec cette façon de travailler il est possible d'obtenir toutes les données que l'utilisateur souhaite. Cette façon de modéliser offre une vision différente de celle de la plupart des logiciels du secteur. Elle est plus proche de celle des industries manufacturières où le projet est vu comme un assemblage de composants qui possèdent son information associée. L'outil PLM permet aussi de créer des coupes en temps réel ce qui est une fonctionnalité importante non seulement pour les phases d'études mais aussi pour les phases de construction.

La deuxième partie de cette démarche fut l'exploitation des outils PLM pour la gestion des flux de données. Avec le logiciel de Dassault Système il est possible d'accéder à la base de données, où toute l'information est stockée et référencée. Dans cette base de données il a été sélectionné le projet « Harmonia » vu précédemment. Une fois le projet sélectionné il est possible de naviguer sur l'ensemble du projet à partir d'une arborescence (Figure 5.26).

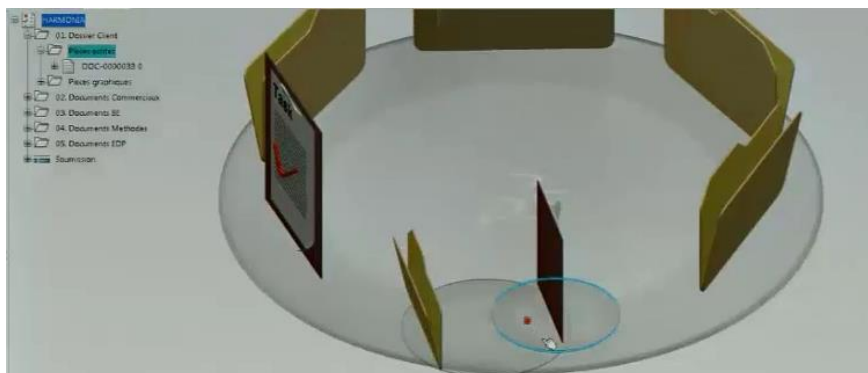


Figure 5.26 – Arborescence du projet Harmonia [28]



Avec ce logiciel il est possible d'avoir une vue du projet par métier, permet de visualiser le projet avec la spécificité de chaque métier mais la maquette est la même, par exemple si une modification du projet est faite sur la vue méthodes le projet central sera actualisé et la vue architecte sera aussi automatiquement mise à jour. Il est aussi possible d'obtenir une vision du projet séparant les éléments par fonction permettant ainsi de faciliter le chiffrage. Par exemple à partir de cette décomposition le responsable des travaux peut obtenir la quantité de béton nécessaire pour le lendemain ou pour toute la semaine. De plus il est possible d'obtenir ces résultats sans avoir à installer le logiciel sur l'ordinateur ou sur une tablette.

Pour créer un nouveau projet dans ce logiciel les utilisateurs peuvent utiliser un *Template* de projet. A partir d'un jeu de questions il est possible de personnaliser le projet et de l'adapter à la phase du projet. Après avoir défini la phase du projet l'utilisateur remplit une fiche signalétique avec les caractéristiques du projet. Une fois le projet validé l'utilisateur accède alors à la WBS, c'est-à-dire à l'arborescence avec les tâches à réaliser en relation avec les documents à fournir.

A ce moment l'utilisateur a une vision de l'ensemble des missions à réaliser, il a aussi accès à un planning prédéfini selon les choix fait antérieurement. Ce planning associe aussi des fonctions aux tâches, par exemple la tâche déboursés secs sera associée au responsable d'étude de prix. L'étape suivante sera d'imputer sur le projet les noms des collaborateurs qui sont répertoriés dans la base de données du logiciel. Une tâche sera alors automatiquement associée à un collaborateur. Quand l'équipe du projet est nommée et les droits d'accès associés donnés, les utilisateurs doivent insérer les documents dans le serveur WEB de la 3DExperience où toutes les données sont archivées. En insérant les documents dans le serveur central, les documents sont directement liés aux tâches, et associés à un cycle de vie. De plus cela permet de garantir qu'il existe qu'une seule version de ce document.

Le cycle de vie du document débute au moment où l'utilisateur insère le document dans la plateforme et indique à toute l'équipe que le document est valide pour y travailler, à chaque modification de ce document tous les utilisateurs seront informés de l'évolution du document et la version obsolète ne sera plus modifiable. Chaque collaborateur accède ainsi directement à la dernière version du document avec sa traçabilité.

La modification des tâches est aussi possible facilement, il suffit d'accéder au planning disposé sous forme de diagramme de Gantt et de réajuster la durée de la tâche (Figure 5.27). Comme les tâches sont liées, en modifiant une tâche cela actualise automatiquement les tâches dépendantes de cette modification.

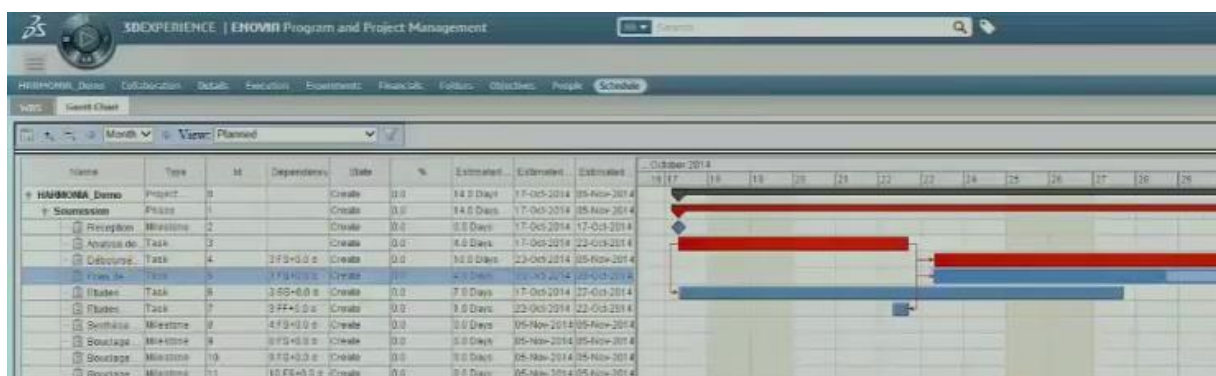


Figure 5.27 – Planning sous diagramme de Gantt [28]

Pour gérer l'avancement des fichiers, le logiciel de Dassault Système permet à l'utilisateur d'avoir une vision de l'ensemble du cycle de vie des documents car tous les documents sont ouverts à partir de la

même plateforme. Une fois qu'un document passe d'une phase à l'autre, il est nécessaire que l'utilisateur actualise les intervenants de cette modification. Cela est fait facilement en chargeant le document et en lui donnant un nouveau statut.

L'actualisation de l'avancement de chaque document doit être associée aussi à la respective tâche afin de pouvoir débloquent les tâches suivantes dépendantes. Par exemple une fois que le bouclage des frais de chantier est fait les documents sont disponibles et les tâches qui sont dépendantes de ce document peuvent ainsi débiter.

# 6

## Conclusion

### 6.1. CONCLUSION SUR LES THEMES ABORDES

Le marché de l'habitat social est l'un des socles du secteur de l'AIC. La construction des logements sociaux est plus qu'un simple marché du secteur ; offrir de bonnes conditions de vies en luttant aussi contre l'isolement est un des aspects importants de ce type de construction. En France, et principalement dans la région francilienne la demande de logements sociaux ne cesse d'augmenter mais la crise économique ne permet pas de construire autant de logements qu'il serait désirable. Le manque de logements sociaux peut être à l'origine de l'inflation des prix du secteur privé.

Dans ce cadre, il est primordial que les entreprises du secteur trouvent des solutions pour augmenter leur productivité et construire plus avec moins de moyens. La filiale francilienne applique actuellement plusieurs des philosophies du Lean Construction et obtient ainsi des gains considérables avec la diminution des gaspillages et l'optimisation des tâches, en introduisant des concepts comme la standardisation et l'informatisation. La conception de plusieurs *concept-building* montre la volonté de l'entreprise d'industrialiser son activité en favorisant la préfabrication, la modularisation et l'automatisation de tâches répétitives.

L'industrialisation est l'axe principal pour l'évolution du secteur, d'autant plus aujourd'hui avec l'effet de la mondialisation. Elle permet d'obtenir des prix plus bas pour les matériaux, de garantir la compatibilité des produits de différents fabricants, de transférer une grande partie du travail fait in situ vers une usine, de mieux planifier l'ouvrage et de réduire les coûts de main d'œuvre. Toutefois le secteur possède des particularités comme les grandes dimensions des éléments ou encore la variabilité des affaires, qui l'empêchent de finaliser complètement l'industrialisation.

La maquette numérique répond ainsi à la plupart des besoins actuels du secteur tout en lui donnant une image plus moderne avec l'entrée dans l'ère numérique. Le BIM a commencé par répondre aux besoins pendant les phases de conception et ensuite à ceux des phases d'études grâce à la possibilité d'extraire les quantités. Les délais ont ainsi été raccourcis et les valeurs sont beaucoup plus fiables. L'extraction est rendue possible grâce à l'évolution des outils BIM car les éditeurs ont adapté les logiciels BIM aux besoins des acteurs en développant des formats ouverts qui permettent d'extraire facilement les quantités et d'autres informations. Cette standardisation des formats est essentielle pour diminuer les problèmes d'interopérabilité entre les logiciels des différents métiers.

Ensuite, les méthodologies BIM ont élargi leurs champs d'applications et ont répondu aux besoins des phases d'exécution, tout en assurant les liaisons avec les autres acteurs. Les éditeurs des logiciels BIM ont ainsi développé des visionneuses qui permettent de lire le projet sous format natif et IFC. Les visionneuses récentes incorporent de plus en plus de formats pour garantir l'interopérabilité et

augmenter leurs fonctionnalités. Les équipes de travaux peuvent ainsi utiliser les technologies BIM pour visualiser, annoter et interroger le fichier central à partir d'outils facilement portables comme les tablettes ou smartphones, grâce aux développements des solutions basées sur un réseau (principalement internet), connues comme les solutions *cloud computing*.

Le développement des formats standards pourra aussi assurer la liaison avec les fournisseurs et fabricants, qui ont un rôle important à jouer pour une meilleure exploitation de la maquette numérique, permettant d'insérer des familles avec toutes les caractéristiques des éléments. Cette mobilisation de tous les acteurs pendant les phases amont, en complémentarité avec les outils BIM, a révolutionné le métier de l'industrie AIC. Le changement d'une ingénierie séquentielle vers une ingénierie concourante apporte énormément de bénéfices non seulement en délais mais aussi en qualité et en coût.

Les deux principaux concepts des méthodologies BIM sont la collaboration et la fluidification de l'information. Avec un marché qui tend de plus en plus vers des contrats du type conception-construction et conception-construction-exploitation ces deux concepts gagnent de plus en plus en importance. Ces types d'affaires ne sont pas nouveaux mais la façon dont elles sont réalisées l'est. C'est un grand changement car les responsabilités des intervenants et leur importance sont modifiées et de nouveaux métiers apparaissent. Une fois que les projets sont conçus différemment, tous les intervenants ont accès aux mêmes informations simultanément, donc les responsabilités deviennent souvent collectives et non plus individuelles ce qui inconsciemment augmentent la qualité des projets.

Le BIM est reconnu par les principaux acteurs du secteur. Plusieurs normes et réglementations ont été instaurées par de nombreux gouvernements afin d'assurer une réduction du gaspillage et une augmentation des gains (de temps, de coût et de qualité) sur les grandes affaires des marchés publics. Le bénéfice d'imposer des normes et réglementations reste encore à démontrer car les entreprises se sentent obligées d'utiliser le BIM et s'engagent sans étudier ni définir une stratégie à long terme. De plus, cela ne permet pas aux entreprises qui ont eu l'initiative d'utiliser le BIM avant son imposition de se distinguer des autres. Cependant, ces nouvelles normes sont importantes pour la standardisation de la gestion de projet : Les entreprises qui souhaitent répondre aux appels d'offres doivent fournir le projet sous format IFC et sous le format natif du logiciel. Ainsi, il est assuré que l'entreprise qui remporte l'affaire ait accès aux informations du projet, car tous les logiciels BIM lisent le format IFC.

Les dernières préoccupations des développeurs du BIM est de lier toutes les phases du cycle de vie du projet. Ainsi les méthodologies BIM incorporent toutes les phases du projet et toutes les informations sont numérisées, structurées et organisées de façon que tous les intervenants (y compris banques et assurances) trouvent les informations nécessaires rapidement.

Pour répondre à ces besoins il est nécessaire de travailler sur un référentiel unique. Le fichier central n'arrive pas à assurer la liaison automatiquement de la maquette avec les autres informations comme les plannings commerciaux, les fiches techniques des produits, etc... . En travaillant sur une base de données unique la liaison entre la maquette et les autres documents est assurée à partir des TAG qui sont possibles grâce à la décomposition des projets en plusieurs tableaux. Cela permet que le modèle central soit actualisé en temps réel sans avoir besoins de synchronisation manuelle. Tous les documents sont numérisés à cet effet. Cela représente le dernier niveau de maturité du BIM et apportera énormément de bénéfices pour l'industrie car, une fois que toutes les données sont numérisées et dans la même base de données les entreprises, les projets pourront atteindre un niveau d'automatisation important.

Le PLM s'est imposé dans les principales industries manufacturières. Les outils PLM présentent théoriquement des réels bénéfices répondant aux besoins du secteur et de l'environnement car en

réalisant la gestion du cycle de vie des éléments, il est possible de contrôler l'ensemble du bâtiment et ainsi de diminuer son impact sur l'environnement. Cependant, le secteur n'est pas encore préparé pour une révolution si profonde. Cela représente une véritable rupture avec les processus traditionnels et plusieurs normes et réglementations devront être instaurées avant de l'utiliser. De plus, le secteur devra avoir un niveau d'industrialisation beaucoup plus élevé.

L'adoption de ces nouvelles technologies est importante pour le développement du secteur mais il reste encore beaucoup de points à résoudre. Il faut être conscient que l'informatique ne remplace pas l'intelligence humaine. L'informatique doit être utilisée comme un outil auxiliaire à la main d'œuvre. Le manque d'expérience et de sensibilité des résultats par les acteurs peut être un des principaux dangers de l'utilisation de ces nouvelles technologies.

## **6.2. CONCLUSION SUR LES TACHES REALISEES**

Lors de la réalisation de ce travail il a pu être observé les bénéfices que la maquette numérique a apportés à la réalisation des projets par les collaborateurs de la DIP. Le logiciel utilisé pour développer l'usage de la maquette numérique, Revit, fournit chaque année plus de fonctionnalités pour améliorer la collaboration, la gestion d'information (Import/Export) et la qualité des maquettes. Cela fut important car il a pu être observé que les quantités de ressaisies sont encore nombreuses. La création des maquettes spécialisées pour les logements sociaux montrent la préoccupation de l'amélioration continue par la DIP en utilisant les technologies les plus récentes. Ces maquettes montrent l'intérêt de l'entreprise pour augmenter le niveau de collaboration avec ses entreprises associées. La production de ces maquettes justifie la réputation que l'entreprise a acquise, non seulement dans le Groupe Bouygues, mais aussi à l'extérieur.

Les maquettes produites assurent les pratiques correctes du BIM, au sein de la DIP, comme dans toute l'entreprise. Ces pratiques correctes ne se limitent pas à l'utilisation de ces maquettes mais aussi comment les collaborateurs l'utilisent. La stratégie adoptée par la DIP correspond exactement aux besoins de l'entreprise. Chaque affaire est stockée sur un serveur qui incorpore tous les documents produits et principalement le fichier central Revit. Ainsi, il est possible d'assurer que tous les collaborateurs de cette direction accèdent aux mêmes données. Cela favorise aussi le travail collaboratif.

Le travail collaboratif et l'ingénierie simultanée est quasiment une réalité chez la DIP. Les collaborateurs ont déjà réalisé plusieurs affaires en collaboration et les résultats sont favorables. Donc le niveau 2 de maturité de BIM est quasiment accompli. La préoccupation de l'entreprise d'assurer la liaison entre les équipes de l'entreprise étendue est aussi présente avec plusieurs démarches réalisées comme par exemple les tests avec des visionneuses IFC, la création de familles en collaboration avec les achats, la création de la MIL et MIL\_Architecte, entre autres. En complémentarité avec ces démarches il est important de vérifier que le fichier ne s'alourdit pas.

Le test avec le logiciel PLM de Dassault Système a permis d'observer quels sont les véritables freins pour adopter ces technologies. Passer de la théorie à la pratique représente une grande différence. Ce test a permis d'observer l'importance de la structuration de données et de la fiabilité des informations (une seule version du projet). Il a permis également d'observer ses potentialités pour favoriser le travail collaboratif. Cependant, la liaison entre la maquette et l'outil PLM n'est pas encore automatisé, soit à chaque modification il est nécessaire de faire des imports/exports via le format IFC manuellement. Si l'entreprise modéliserait avec l'outil 3Dexperience, les modifications s'actualiseraient automatiquement. Cependant, la modélisation sur la 3Dexperience n'est pas encore

adaptée au secteur. Ce logiciel s'appuie trop sur les principes de l'industrie manufacturière car le logiciel à une vision du bâtiment comme un assemblage de composants. Cela se reproduit sur la création des plans. L'outil PLM sort des plans comme les plans de l'ingénierie automobile où ils ressemblent à des plans d'assemblage d'éléments.

Après avoir observé les principaux inconvénients détectés, lors du test avec Dassault Système, d'autres logiciels ont été répertoriés comme Lascom AEC, AutodeskPLM360 et des logiciels qui s'approchent des fonctionnalités PLM, principalement les éditeurs de logiciels BIM sur cloud.

Lascom a été vu comme une alternative viable grâce à son partenariat avec CSTB et ses solutions plus simples que Dassault Système. Il n'a pas été possible d'avoir accès au logiciel mais il a été vu théoriquement comment il gèrait la liaison entre la maquette et la plateforme WEB et son adaptation dans le BTP. Cette solution présente une variante intéressante répondant aux principaux besoins actuels de l'entreprise avec une solution plus intuitive.

Autodesk fournit une solution encore limitée. L'outil Autodesk PLM paraît intéressant car il serait possible de faire une grande partie du travail sous le format natif. Donc, une grande partie des problèmes d'interopérabilité seraient résolus. Mais la liaison entre la plateforme PLM d'Autodesk et Revit n'est toujours pas aussi développée qu'elle serait attendue, il est nécessaire d'utiliser un *middleware*.

Les éditeurs des outils BIM lancent de plus en plus de solutions sur cloud. Cela est important pour assurer la collaboration des équipes de l'entreprise étendue. La solution Cloud permet aussi de gagner du temps lors des simulations, car les réseaux sont très puissants. L'inconvénient perçu par les utilisateurs est la durée du téléchargement de la maquette.

Travailler sur cloud pourrait être un pas intermédiaire avant l'adoption des technologies PLM. Tout indique que de nombreux progrès seront produits par les éditeurs de logiciels pour faciliter la liaison entre le BIM et le PLM. Actuellement, il est important de consolider la pratique du travail collaboratif, mobilisant tous les collaborateurs sur la maquette. La création de paramètres pour mieux exploiter la maquette est aussi un des pas importants, avant le passage au PLM. Les familles des éléments devront être aussi adaptées à tous les intervenants, notamment les fournisseurs, choisir l'utilisation des familles évolutives afin de ne pas alourdir les fichiers. La plateforme Chorus pourrait aussi être améliorée afin de faciliter la gestion des documents. L'utilisation des formats standards comme le COBie peut aussi fournir une valeur ajoutée à l'entreprise. L'organisation des éléments, respectant le système Omniclass est aussi un pas important. Cependant l'entreprise, étant le leader de son marché, a comme objectif de s'anticiper face à ses concurrents et d'être l'un des premiers à adopter cette nouvelle technologie.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] Coupété, A.- *L'histoire du Lean*. Institut Lean France, 14 Mai 2012, obtenue à partir de <http://www.institut-lean-france.fr/doc-91-81-L%E2%80%99histoire-du-Lean.html?PHPSESSI>. [Consultée en 23/03/2015]
- [2] Biographie d'Henry Ford- Fordisme. 2013, obtenue à partir de <http://www.henryford.fr/fordisme/>. [Consultée en 24/03/2015]
- [3] Womack, P. ; Jones, D.- *L'école Lean*. 1990, obtenue à partir de [http://www.definition-qualite.com/ecole\\_lean.htm](http://www.definition-qualite.com/ecole_lean.htm). [Consultée en 24/03/2015]
- [4] Merle, A.- *Analyse de l'implantation d'outils de Lean Construction au chantier AP60 phase 1*, Mémoire en vue de l'obtention du diplôme de maîtrise, École Polytechnique de Montréal, 2012.
- [5] Durand, P-E.- *Aéroport Roudabout Pont BR001*. 2014, obtenue à partir de <http://structurae.info/ouvrages/airport-roundabout-upgrade-bridge-br001>. [Consultée en 29/05/2015]
- [6] Koskela, L.- *Application of the new production philosophy to construction*. Stanford University, Californie, Septembre 1992. Obtenue en <http://cife.stanford.edu/sites/default/files/TR072.pdf> [Consultée en 4/05/2015]
- [7] Emond, C.- *La gestion de projet Lean: Origines, principes et promesses*. IQAR, 2010, obtenue en <http://www.axcion.eu/documents/Lean%20PM-Article-Emond-IQar.pdf> [Consultée en 27/03/2015]
- [8] Ghassan, A.; Song, W.; Angela, L.; Timothy, O.- *The history of BIM. Computer Aided Design Guide for Architecture, Engineering and Construction*, Routledge, New York, 2012.
- [9] [http://fr.wikipedia.org/wiki/Building\\_Information\\_Modeling](http://fr.wikipedia.org/wiki/Building_Information_Modeling) [Consultée en 27/02/2015]
- [10] Cellier, I.- *Le BIM pour les nuls*. Polantis 3D Catalog Technology, 2014, obtenue en <http://www.polanis.info/author/sturgeon13/> [Consultée en 23/02/2015]
- [11] Graphisoft - *What is BIM good for ?*. obtenue à partir de [http://www.graphisoft.com/archicad/open\\_bim/about\\_bim/](http://www.graphisoft.com/archicad/open_bim/about_bim/) [Consultée en 27/02/2015]
- [12] Stephen J. ; Harvey B.- *Valeur ajoutée du BIM pour la construction dans les grands marchés mondiaux*. SmartMarket Report, McGraw\_Hill, 2014.
- [13] Eastman, C.; Teicholz, P.; Sacks, R.; Liston, K.- *"BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers, and Contractors"*. Deuxième Edition. John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey, USA, 2011.
- [14] Nicolas, J.- *L'interopérabilité au coeur des enjeux de la maquette numérique*. Le Moniteur, 2014, obtenue en <http://www.lemoniteur.fr/article/l-interopabilite-au-coeur-des-enjeux-de-la-maquette-numerique-23652082>-[Consultée en 02/03/2015]
- [15] Nawari, O.- *Bim Standard in the Structural Domain*. Journal of Civil Engineering and Science Volume 1, 02/06/12, World Academic Publishing, Florida.
- [16] Medi@Construct- Normes et standards liées à la maquette numérique interopérable : BIM, IFC, PPBIM, 2014, obtenue en <http://www.mediaconstruct.fr/lessentiel-du-bim/bim-normes-et-standards> [Consultée en 28/02/2015]
- [17] Norbert, W., Jones, A., Bernstein, M. *Interoperability in the Construction Industry*. SmartMarket Report, McGraw\_Hill, 2007,

- [18] American Institute of Architects - NEW POSITION STATEMENT REQUEST ON INTEROPERABILITY (Related to Project Delivery). Obtenue à partir de <http://www.aia.org/aiaucmp/groups/aia/documents/pdf/aia080846.pdf>. [Consultée en 02-03-2015]
- [19] Eastman, C., Jeong, Y., Sacks, R., Kaner, I. - *Exchange model and exchange object concepts for implementation of national BIM standards*. Journal of Computing in Civil Engineering Vol. 24, Georgie, 2009.
- [20] [http://www.ifcwiki.org/index.php/Basic\\_Information](http://www.ifcwiki.org/index.php/Basic_Information). [Consultée en 05/03/2015]
- [21] <http://www.archiprogramme.com/#!/-bim/c1802>. [Consultée en 05/03/2015]
- [22] <http://www.buildingsmart-tech.org/certification/ifc-certification-2.0/ifc2x3-cv-v2.0-certification/participants>. [Consultée en 09/03/2015]
- [23] Bjørkhaug, L.; Bell, H.- *Ifd:IFD in a Nutshell*, 2007, obtenue en [http://dev.ifd-library.org/index.php/Ifd:IFD\\_in\\_a\\_Nutshell](http://dev.ifd-library.org/index.php/Ifd:IFD_in_a_Nutshell). [Consultée en 16/04/2015]
- [24] Robert P.- *Guide pour la description de projets par élément UNIFORMAT II basée sur la norme ASTM E1557 et unités de mesure niveau 3*, 2006.
- [25] Karlshøj, J.- *Information Delivery Manuals*. BuildingSMART, 10 Mars 2011, obtenue à partir de <http://objectif-bim.com/index.php/technologie-bim/interoperabilite-echange-des-donnees-bim/openbim-buildinsmart/idm-le-manuel-des-echanges-d-informations>. [Consultée en 20/04/2015]
- [26] <http://www.buildingsmart-tech.org/specifications/bcf-releases>. [Consultée en 22/04/2015].
- [27] Renou, J.- *Revit : Initiation et perfectionnement par la structure*, Eyrolles, 2014, Paris.
- [28] Bouygues Bâtiment Île-de-France Habitat Social,- *Documents internes*, Guyancourt, 2015.
- [29] David J.- *Engineering and Construction Vol 1*, International Journal of Architecture, Engineering and Construction, Septembre 2012, p183-186, obtenue à partir de <http://www.iasdm.org/journals/index.php/ijaec/article/view/96/50>. [Consultée en 23/04/2015]
- [30] Abvent- *Archicad 14 open BIM collaboratif*. Abvent, 2010, Archicad edition, obtenue à partir de <http://www.eyrolles.com/Accueil/Vitrines/Logiciel/archicadstartedition.pdf>. [Consultée en 23/02/2015]
- [31] <http://www.evolve-consultancy.com/resource/bim-brief/lod-lod-loi>. [Consultée en 29/04/2015]
- [32] <http://www.objectif-bim.com/index.php/bim-maquette-numerique/le-bim-en-bref/les-avantages-du-bim>. [Consultée en 24/02/2015]
- [33] Hoffer, E.- *Mesurer la valeur ajoutée du BIM : Obtention d'un RSI stratégique*, Autodesk, 2014, obtenue à partir de [http://www.aricad.fr/ressources/10348/67/fy15\\_aec\\_expand\\_ebook\\_roi\\_bim\\_fr.pdf](http://www.aricad.fr/ressources/10348/67/fy15_aec_expand_ebook_roi_bim_fr.pdf). [Consultée en 13/04/2015]
- [34] Meireles, António Ruivo. *Estratégia para uma integração avançada do BIM no processo Construtivo*. 4º Seminaire Internacional BIM, 24 Octobre 2013
- [35] Sousa, H.; Martins J.; Monteiro A.- *Projecto SIGABIM: BIM*. Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2011, obtenue à partir de <http://paginas.fe.up.pt/~gequaltec/w/index.php?title=BIM>. [Consultée en 24/02/2015]



- [36] Marin, P.- *L'usage des Systèmes d'Information PLM (Product Life-Cycle Management) contribue-t-il à l'innovation collaborative*, Thèse Professionnelle mastère spécialisé, École nationale supérieure des mines de Paris, 2009
- [37] Siemens PLM software - *Une approche unique pour transformer le processus d'innovation dans l'industrie automobile*. Siemens, obtenue à partir de [https://www.plm.automation.siemens.com/fr\\_fr/Images/7858\\_tcm68-24381.pdf](https://www.plm.automation.siemens.com/fr_fr/Images/7858_tcm68-24381.pdf). [Consultée en 18/05/2015]
- [38] Bouguessa, A. Forgues, D. Doré, S.- *La complémentarité entre le Building Information Modeling (BIM) et le Product LifeCycle Management (PLM) en passant par le Lean Construction (LC)*, Congrès général, 29 Mai au 1<sup>er</sup> Juin 2013, Québec.
- [39] National Institute of Standards and Technology's Manufacturing Engineering - *A generic lifecycle of products*. National Institute of Standards and Tecnologie, Mars 2008. [Consultée en 18/05/2012]
- [40] Henriot, J-L.- *Les grands noms du BTP passent au PLM*, BTPinformatique, 21/12/2012 obtenue à partir de <http://www.btpinformatique.fr/wiki/Lascom%20PLM>. [Consultée en 20/05/2015]
- [41] Moine J.- *Le WBS 3D : une approche de la structuration de projet ?*, Association Francophone de Management de Projet, 2010, Afitep, Paris.
- [42] Tonarelli, P.- *Le cycle de vie d'un logiciel*, 2007, obtenue en [http://stockage.univ-valenciennes.fr/TonarelliInteroperabilite20070601/coursweb/unite4/co/4\\_3\\_2\\_CycleVieLogiciel.html](http://stockage.univ-valenciennes.fr/TonarelliInteroperabilite20070601/coursweb/unite4/co/4_3_2_CycleVieLogiciel.html). [Consultée en 25/05/2015]
- [43] Kamoun, P. *Il était une fois le logement social*. 30/06/2013. <http://www.union-habitat.org/LES-HLM-DE-%C3%A0-Z/L%E2%80%99HISTOIRE-DES-HLM/IL-%C3%A9TAIT-UNE-FOIS-LE-LOGEMENT-SOCIAL>. [Consultée en 23/04/2015]
- [44] <http://www.crdp-strasbourg.fr/data/albums/alsa1871-1918/index.php?img=8&parent=8>. [Consultée en 23/04/2015]
- [45] Préfet de la région Pays de la Loire, Parc locatif social, Septembre 2014, obtenue en <http://www.pays-de-la-loire.developpement-durable.gouv.fr/introduction-a-l-histoire-du-logement-social-a1102.html>. [Consultée en 24/04/2015]
- [46] Union sociale pour l'habitat- *Les HLM en chiffres 2014*. 75<sup>e</sup> congrès, 23 au 25 Septembre 2014, obtenue à partir de <http://ressourceshlm.union-habitat.org/ush/RapportsAuxCongres/Les+Hlm+en+chiffres+2014> [Consultée en 26/04/2015]
- [47] Baromètre MeilleursAgents- *Les prix retrouvent le chemin de la baisse, la crainte de l'encadrement des loyers fait fuir les investisseurs*. MeilleursAgents, 03 Mars 2015, obtenue à partir de <http://www-old.meilleursagents.com/actualite-immobilier/2015/03/barometre-meilleursagents-au-1er-mars-2015/> [Consultée en 24/04/2015]
- [48] <http://www.aorif.org/logement-social-en-idf> . [Consultée en 24/04/2015]
- [49] <http://www.bouygues.com/le-groupe/qui-sommes-nous/presentation-de-bouygues/>. [Consultée en 23/04/2015]
- [50] <http://www.bouygues-construction.com/groupe/leader-de-la-construction-durable> [Consultée en 23/04/2015]

- [51] Santos Silva, Jorge Miguel. *Princípios para o Desenvolvimento de Projetos com Recursos a Ferramentas BIM*, Dissertação de mestrado, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2013.
- [52] Sousa, H. ; Martins, J.- *Gestão de projetos-Introdução a gestão de projetos*. 2011, MIEC, Faculdade Engenharia da Universidade do Porto.
- [53]\_Henin, L.- *Tout sur le BIM level 2*, hexabim, 14 Avril 2015, obtenue à partir de [HTTP://WWW.HEXABIM.COM/FR/BLOG/TOUT-SUR-LE-BIM-LEVEL-2.HTML](http://www.hexabim.com/fr/blog/tout-sur-le-bim-level-2.html) [Consultée en 11/05/2015]
- [54]\_Cuzmina, L.- *Communication Manager*. Maps Système, 24 Février 2015, obtenue à partir de [HTTP://WWW.MAPS-SYSTEM.COM/FR/DATBIM/#.VYB\\_UivF\\_Cs](http://www.maps-system.com/fr/datbim/#.VYB_UivF_Cs). [Consultée en 01/06/2015]
- [55]\_Knittle, B. – *Introduction to multi-discipline collaboration in Revit*. Synergis Building Solutions Engineer, 1 Avril 2014, obtenue à partir de <http://synergiscadblog.com/2014/04/01/introduction-to-multi-discipline-collaboration-in-revit/>. [Consultée en 05/06/2015]
- [56]\_Mell, P. ; Grance, T.- *The NIST definition of Cloud Computing*. National Institute of standards and technologie, Septembre 2011, obtenue à partir de <http://csrc.nist.gov/publications/nistpubs/800-145/SP800-145.pdf> . [Consultée en 20/05/2015]
- [57] [https://fr.wikipedia.org/wiki/Cloud\\_computing#/media/File:Cloud\\_Computing\\_-\\_les\\_diff%C3%A9rents\\_mod%C3%A8les\\_de\\_service.svg](https://fr.wikipedia.org/wiki/Cloud_computing#/media/File:Cloud_Computing_-_les_diff%C3%A9rents_mod%C3%A8les_de_service.svg) [Consultée en 22/05/2015]
- [58]\_Andrieu, D.- *Positionner le PLM comme l'épine dorsale des projets*. Lascom PLM, 1<sup>er</sup> Juillet 2014, obtenue à partir de <http://www.blogplm.com/infographie--cbce920ed564c311ffb90885eb6bfd18.html> . [Consultée en 22/05/2015]

# 1

## **Annexe**

### **Guide d'utilisation des Cartouches**

## Guide d'utilisation des Cartouches



Figura A1.1 – Feuille d'accueil du Guide

**BY\_NomProjet**

**BY\_Niveau**

**BY\_TypePlan**

Localisation

BY\_Batiment

Adresse

DET	Bureau de contrôle
EPIC	ALPHA CONTROLE
25, rue de la paix 92000 NANTERRE	Projet d'extension de l'habitat de la rue de la paix 92000 NANTERRE
Coordonnées SFE	Intégrité des données
BOULEVARD VERITAS	BOULEVARD VERITAS
BOULEVARD VERITAS	BOULEVARD VERITAS

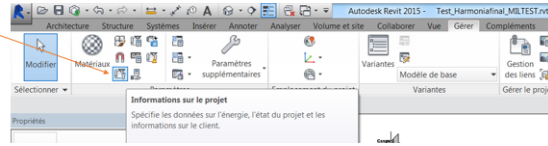
N° de plan: R001, BY, XX, XX, EXE, BY\_NomTrav

Adaptation de la feuille au  
cartouche

Figura A1.2– Cartouche A4

## Paramètre unique multi-métier

- C'est un paramètre qui doit être inséré dans l'onglet « [information sur le Projet](#) ».



- Ce paramètre étant un paramètre partager il est nécessaire l'inséré dans le projet. (Voir [ici](#))
- Choisir la catégorie « information sur le projet ».



Figura A1.3 – Création paramètre commun à plusieurs métiers

## Information sur le Projet



- Une fois que vous sélectionnez l'onglet « information sur le projet » il suffit de remplir ces champs et il apparait automatiquement sur les cartouches.

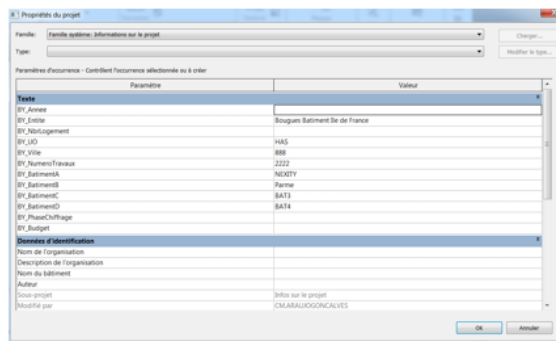


Figura A1.4 – Interface de l'information sur le projet

## Insérer un paramètre dans le projet

- Les paramètres partagés sont nécessaires l'insérer dans le projet.

- Pour cela il faut sélectionner l'onglet paramètre de projet
- Ensuite venir ajouter le paramètre dans le projet en cliquant sur ajouter.
- Sélectionnez paramètre du projet et ensuite l'application « sélectionner ».
- Sélectionnez le paramètre désiré

Pour conclure il faut associé le paramètre à la catégorie désirée.

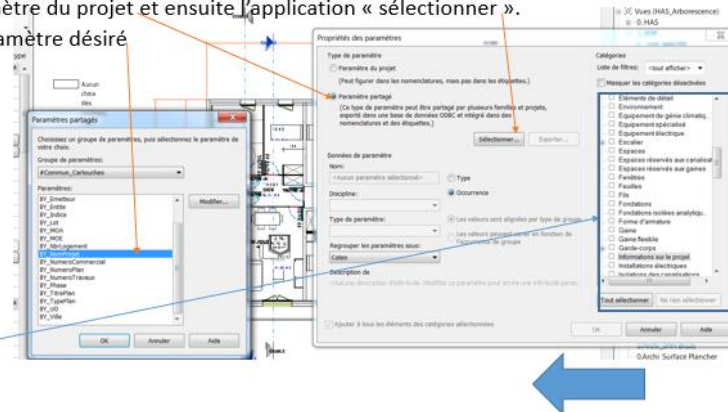


Figure A1.5 – Insertion de paramètre dans le projet

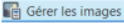
## Maître d'œuvre et Maître d'ouvrage

- Ces paramètres sont aussi insérés dans l'onglet « Information sur le projet »
- Ce paramètre étant un paramètre partagé il est nécessaire l'insérer dans le projet. (Voir [ici](#))
- Les images peuvent être insérées mais ne sont pas dans le cartouche base. Si vous souhaitez insérer ou modifier une image cliquez [ici](#)



Figure A1.6 – Champs « Maître d'œuvre » et « Maître d'ouvrage »

## Insérer/ Modifier Image

- Pour insérer une image il suffit de faire un double clic sur le cartouche et une fois que la famille du cartouche est ouverte sélectionnez l'onglet gérer les images: 
- Ensuite appuyez sur « Ajouter » et vous pourrez charger l'image que vous souhaitez

Si vous désirez modifier une image il faut:

- Sélectionnez l'image:
- Appuyez sur « Recharger depuis »

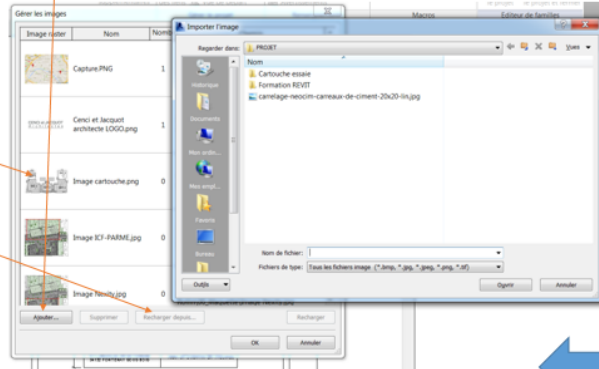


Figure A1.7 – Insérer ou Modifier les images

## Paramètres communs

Ces paramètres sont des paramètres partagés donc il est nécessaire l'insérer dans le projet. (Voir [ici](#))

Ces paramètres doivent être associés à la catégorie des feuilles.

- Une fois que ces paramètres sont insérés dans le projet vous le remplissez:
  - soit un cliquant une fois sur le cartouche et remplir les points d'interrogation qui apparaissent;
- Soit vous remplissez les paramètres qui sont dans les propriétés des feuilles.

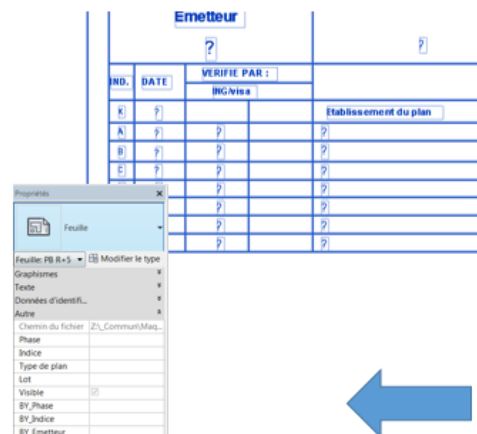
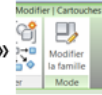


Figure A1.8 – Création paramètres communs

## Texte

- Ces textes ne sont pas associés à un paramètre, ils sont tout simplement des textes car ils sont rarement modifiés.
- En cas de vouloir les modifier, il faut rentrer dans la famille du cartouche pour cela:
  - Soit vous appuyez sur le cartouche et ensuite sur « modifier la famille »
  - Soit vous faites un double clic sur le cartouche.



- Une fois dans la famille du cartouche, vous devez appuyer sur le texte et le modifier.



Figure A1.9 – Insertion de texte

## Listes déroulantes

- Ces paramètres sont des paramètres de famille qui sont créés dans la propriété de la famille du cartouche et qui sont associés à un [type de famille](#).
- Ces paramètres ne nécessitent pas d'être insérés dans le projet car ils sont chargés avec le cartouche.
- Pour remplir ce type de paramètre, vous devez cliquer une fois sur le cartouche, puis cocher le paramètre que vous souhaitez. Les paramètres sont associés aux propriétés du cartouche.

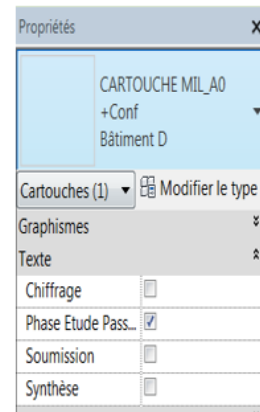
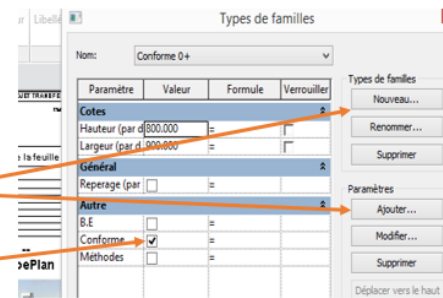


Figure A1.10 – Listes déroulantes



## Paramètre de visibilité

- Créez un paramètre et associez-le à un type de famille, en cochant le paramètre



- Ensuite associez le texte au type de famille souhaité.

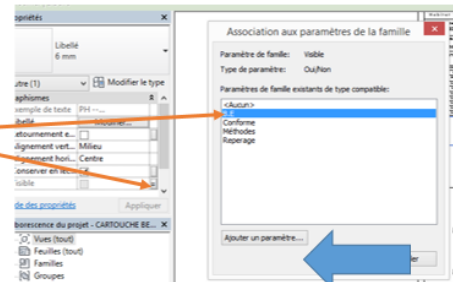


Figure A1.11 – Association des paramètres à une vue

## Nom des bâtiments

- Ce paramètre est commun à tous les métiers mais la façon dont il est utilisé est différente selon les métiers.
- Ce paramètre est un paramètre qui est rempli dans l'onglet « [information sur le projet](#) », donc il est nécessaire [l'insérer dans le projet](#).
- Généralement ces paramètres sont associés à un type de cartouche, par exemple le Cartouche conforme possède 4 types de bâtiment : « BâtimentA » « BâtimentB » « BâtimentC » « BâtimentD ».
  - Chaque type de bâtiment est associé au paramètre rempli dans l'information sur le projet.

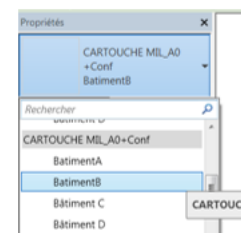


Figure A1.12 – Association des bâtiments

## Ajustement de la feuille d'impression

- La ligne supérieur a été bloquée afin de ne pas dépasser la hauteur maximum.
- Les trois autres sont facilement adaptables a chaque projet.
- Pour les imprimer il doit être ajuster aux dimensions de la feuille et non aux dimension standard. Les dimensions de la feuille d'impression est disponible dans les propriétés du cartouche.

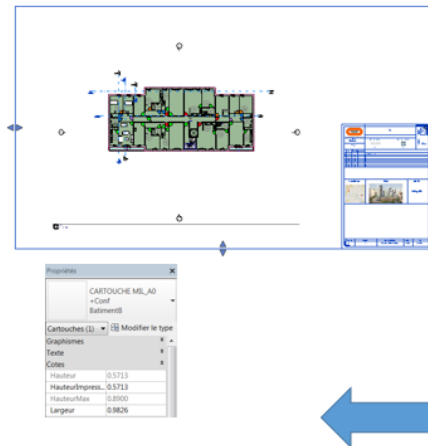


Figure A1.13 – Ajustement de la feuille d'impression

## Cartouche pour A3



BY_TitrePlan				BY_NomProjet			
1 <sup>er</sup> DE PLAN	2 <sup>ème</sup> DE PLAN	3 <sup>ème</sup> DE PLAN	METHODE	BY_NomProjet	BY_NomProjet	BY_NomProjet	BY_NomProjet
R001	BY_Em	1 / 100e	METHODES	BY_NomProjet	BY_NomProjet	BY_NomProjet	BY_NomProjet

Figure A1.14 – Cartouche avec les mêmes paramètres

# 2

## **ANNEXE**

### **Guide d'utilisation MIL\_Archi- Partie Modélisation**

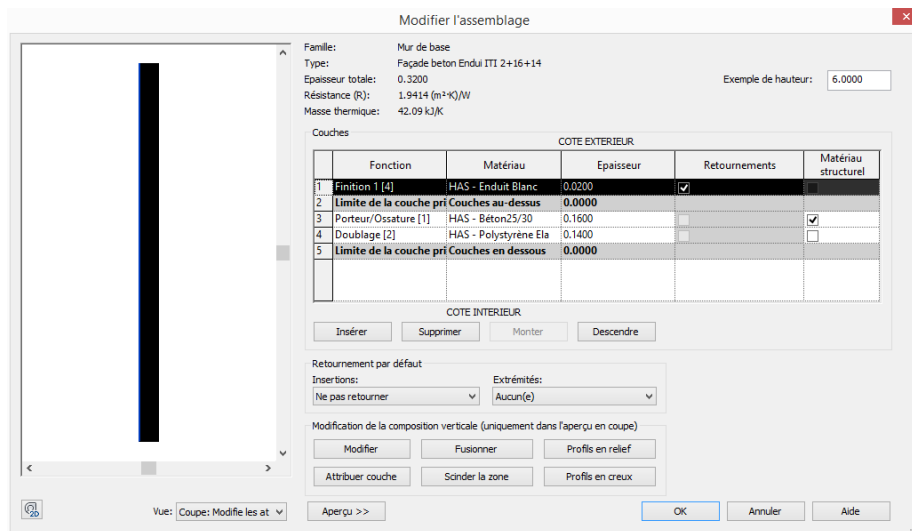
## Modélisation

### a) CREATION DES FAMILLES MULTICOUCHES (MURS, PLANCHERS, TOITS)

Avant de commencer la modélisation il doit être fait une vérification des épaisseurs des différentes couches des voiles de façade afin d'obtenir une maquette plus rigoureuse avec peu de travail. Pour cela :

- Cliquez sur « murs » dans l'onglet architecture ;
- Choisissez le type de mur désiré ;
- Cliquez sur « Modifier le type »
- Cliquez sur « Modifier »

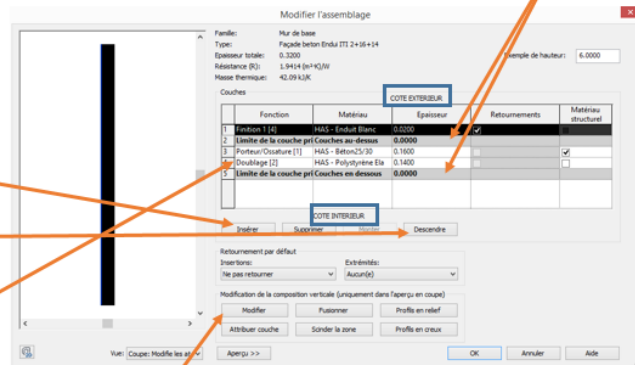
En appuyant sur modifier l'utilisateur accède à la propriété du mur. Ainsi il est possible d'éditer chaque couche qui est dans le mur.



Ainsi cette interface permet de :

La définition du limite de couche est aussi important pour définir la/les couches principales.

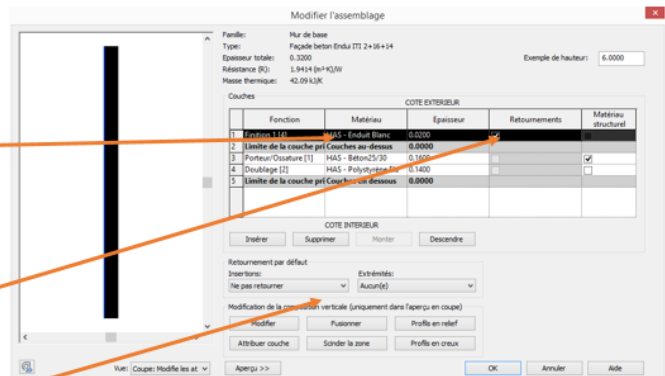
- Cette interface permet d'ajouter les couches désirées.
- Il est possible contrôler la localisation de la couche.
- Lors de l'ajout d'une nouvelle couche il est important de lui associer sa correct fonction



Il est aussi possible de débloquer la couche du doubleage afin de diminuer les chevauchements.

La maquette numérique est un fichier central, comme tel il est important de centraliser toutes les informations utiles qui pourront être utilisées pour optimiser le travail collaboratif et la diminution de ressaisie. Comme tel il est important de rentrer directement avec les matériaux et ses caractéristiques les plus complets possible. Ainsi :

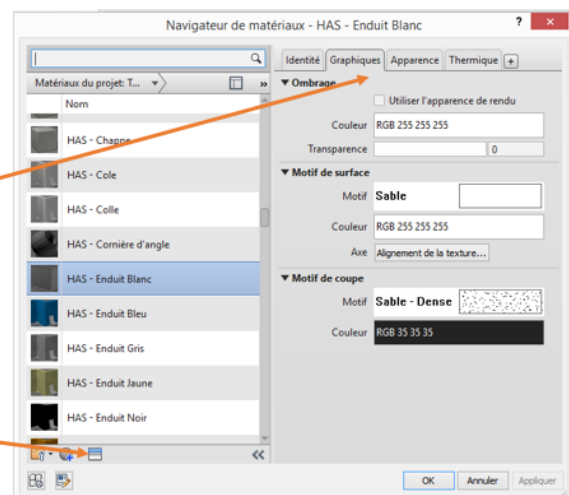
- Les matériaux peuvent aussi être complétés afin d'enrichir le modèle central.
- Il est également possible de cocher le retournement afin d'améliorer la qualité de la maquette.
- Il est possible de contrôler ce retournement à partir de la liste proposée.



En cliquant sur les matériaux le logiciel fournit la possibilité de remplir et personnaliser les matériaux utilisés.

## Matériaux

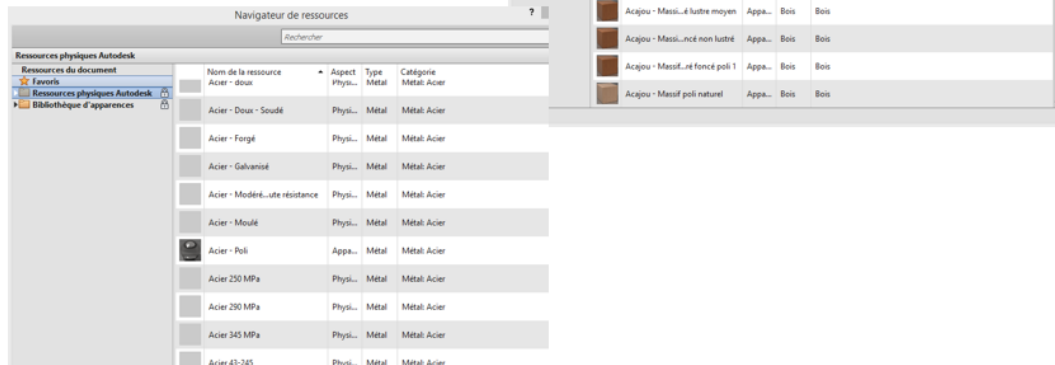
- A partir de cette interface il est possible d'ajouter les caractéristiques des matériaux.
- L'ajout de ces informations peut être réalisé manuellement ou automatiquement à partir de la bibliothèque Autodesk.



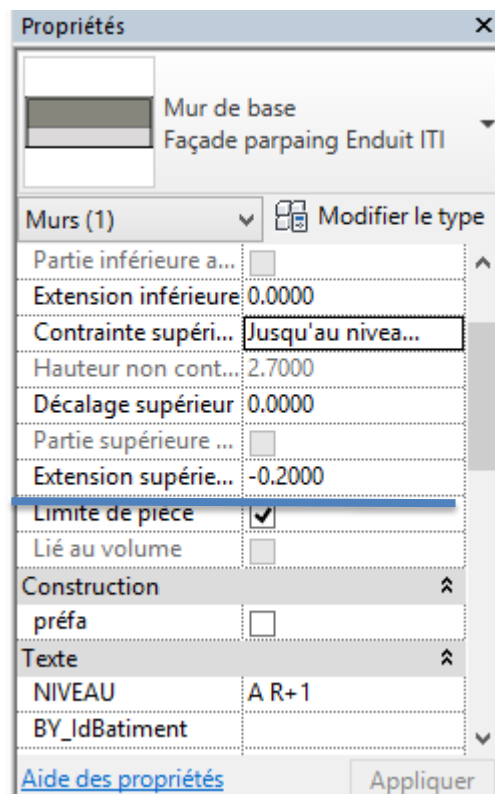
Le logiciel fournit aussi des bibliothèques avec les caractéristiques physiques, et thermiques de plusieurs matériaux.

## Bibliothèque Autodesk

- Autodesk possède une grande quantité de paramètre de nombreux matériaux.



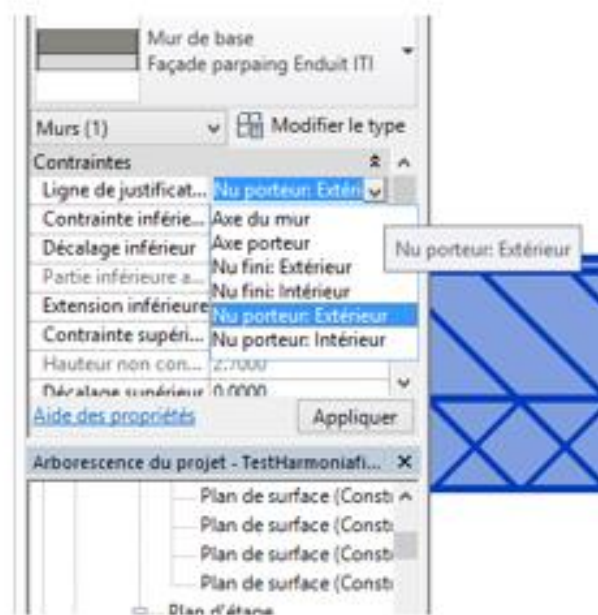
Pour respecter la charte de l'entreprise il est convenable que l'utilisateur adapte la hauteur du voile.



### b) Modélisation

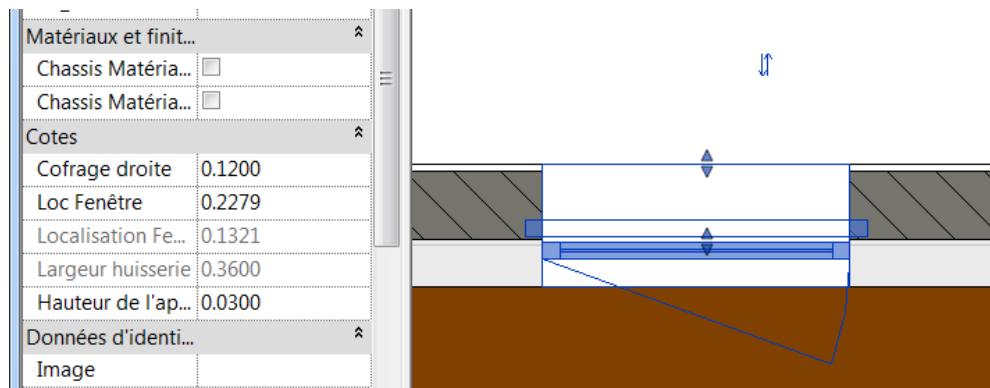
Pour une modélisation correcte et précise il a est important d'associé les lignes de justification au couche qui sont représenté par l'architecte afin de ne pas à avoir à faire des ajustements manuels. Pour cela il est important de laisser la couche de finition hors du limite de a couche principal.

La modélisation peut être réalisée à partir de la ligne que l'utilisateur souhaite dépendant de ses besoins. Pour cela il est nécessaire d'informer le logiciel du choix :



Pour les éléments restants le principe est le même, l'ordre de priorité est essentiel.

Les familles de fenêtre sont aussi très facilement adaptables aux différents types de mur avec épaisseurs différentes. Pour cela l'utilisateur doit soit le faire manuellement à partir des flèches soit à partir des paramètres qui sont dans les propriétés de la famille.

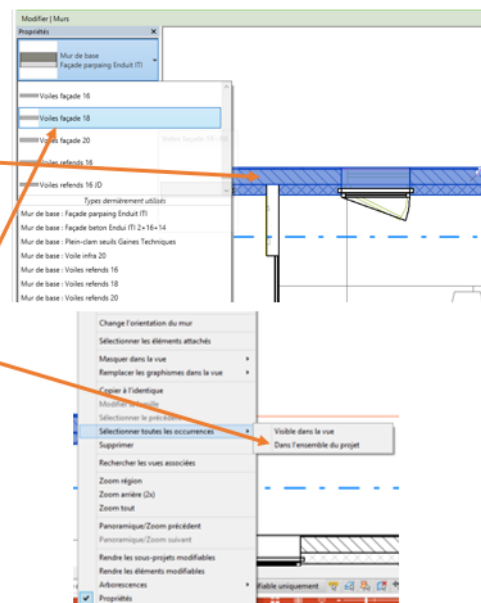


Pour la famille des fondations le processus est le même.

#### c) Remplacement du Mil\_Archi vers le MIL

Le passage du MIL\_archi vers le MIL est réalisé à partir du remplacement des murs multicouches par les voiles de façade. Pour cela il est nécessaire :

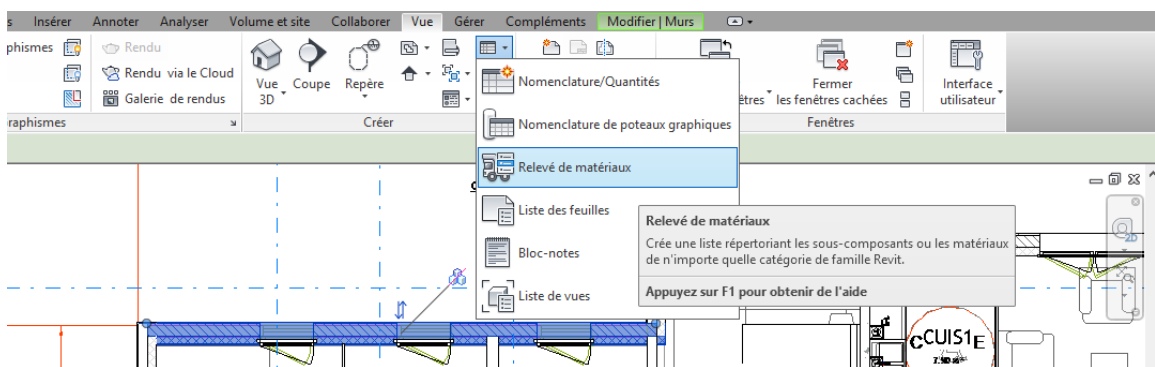
- Sélectionnez le mur multicouche
- Cliquez sur le bouton droits et sélectionnez:
- Ensuite sélectionnez le type mur désiré



Si le projet est très similaire, même épaisseur de plancher, même épaisseur de doublage etc... Il est convenable de faire le remplacement en sélectionnant toutes les occurrences identiques ainsi tous les murs du projet contenant les mêmes occurrences seront automatiquement modifier.

#### d) Extraction de quantité

Pour obtenir des informations sur chaque couche qui constitue le mur il est doit être créé des relevé de matériaux.



Pour personnalisé les tableaux il doit être créés plusieurs filtre afin d'obtenir l'information désiré.



The screenshot shows the software interface with the 'Propriétés' (Properties) panel open. The panel has tabs for 'Propriétés', 'Paramètres', and 'Colonnes'. The 'Propriétés' tab is active, showing a 'Nomenclature' (BOM) view. The 'Nomenclature' panel includes a 'Nomenclature: Reli' dropdown, a 'Modifier le type' button, and a list of fields: 'Sous-projet', 'Modifié par', 'Phase de construct...', 'Filtre des phases', 'Phase', 'Autre', 'Champs', 'Filtre', 'Tri/Regroupement', 'Mise en forme', and 'Apparence'. The 'Filtre des phases' is set to 'Afficher tout' and 'Phase' is set to 'Projet'. The 'Autre' section has expandable arrows. The 'Champs', 'Filtre', 'Tri/Regroupement', 'Mise en forme', and 'Apparence' sections each have a 'Modifier...' button.

To the right of the 'Propriétés' panel is a table titled '<Relevé de matériaux de mur 3>'. The table has two columns: 'A' and 'B'. The 'A' column is labeled 'Matériau: Surface' and the 'B' column is labeled 'Matériau: Nom'. The table contains 14 rows of data:

A	B
Matériau: Surface	Matériau: Nom
206.10	HAS - Peinture Bla
103.05	HAS - Béton25/30
74.11	HAS - Peinture Bla
37.06	HAS - Béton25/30
204.89	HAS - Peinture Bla
102.44	HAS - Béton25/30
90.00	HAS - Peinture Bla
45.00	HAS - Béton25/30
28.00	HAS - Peinture Bla
14.00	HAS - Béton25/30
28.00	HAS - Peinture Bla
14.00	HAS - Béton25/30
28.00	HAS - Peinture Bla
14.00	HAS - Béton25/30

En cliquant sur Modifier il est possible d'avoir un contrôle total sur les tableaux.

The screenshot shows the 'Propriétés du relevé de matériaux' (Material Takeoff Properties) dialog box. The dialog has a title bar with a close button (X). It contains five tabs: 'Champs', 'Filtre', 'Tri/Regroupement', 'Mise en forme', and 'Apparence'. The 'Filtre' tab is active. The 'Filtre' tab contains a 'Filtrer par:' label and three dropdown menus. The first dropdown is set to 'Matériau: Nom', the second to 'égal', and the third to 'HAS - Béton25/30'. Below these are three 'Puis par:' labels, each followed by a dropdown menu set to '(aucun)'. The dialog box is designed to allow users to filter and sort the material takeoff data.